



 **DESEID** 
2022

**IX Congreso Nacional
de i+d en
Defensa y Seguridad**

15, 16 y 17 de noviembre de 2022



MINISTERIO DE DEFENSA





DESERVO

2022



IX Congreso Nacional de **i+d** en Defensa y Seguridad

15, 16 y 17 de noviembre de 2022

Resúmenes



MINISTERIO DE DEFENSA



IX Congreso Nacional de **i+d** en Defensa y Seguridad

15, 16 y 17 de noviembre de 2022
Resúmenes

Organiza



Isdefe

Patrocina



Isdefe



Catálogo de Publicaciones de Defensa
<https://publicaciones.defensa.gob.es>



Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
<https://cpage.mpr.gob.es>

publicaciones.defensa.gob.es
cpage.mpr.gob.es

Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autores y editor, 2022

NIPO 083-22-255-5 (edición impresa)

ISBN 978-84-9091-693-3 (edición impresa)

Depósito Legal M 26647-2022

Fecha de edición: octubre de 2022

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

NIPO 083-22-256-0 (edición en línea)

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad de los autores de la misma. Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel 100% libre de cloro procedente de bosques gestionados de forma sostenible.

DESEi+d

Índice

Prólogo.....	19
Presentación.....	21
Comité Director y Científico.....	23
Área I - Armas y municiones	25
1.1. Tecnologías de armas y municiones.....	27
Desarrollo de detonadores libres de plomo para uso militar (DESEi+d 2022: 23).....	29
Actualización tecnológica de las pruebas de estabilidad sobre propulsantes de doble base (DESEi+d 2022: 105).....	30
Influencia de las cadenas libres en la viscoelasticidad de compositas: estudio por DMA (DESEi+d 2022: 106).....	31
Relajación de compositas a esfuerzos cíclicos (DESEi+d 2022: 109).....	32
1.2. Tecnologías de integración e interoperabilidad de armas.....	33
Munición exploradora basada en sistemas aéreos no tripulados convencionales. Un análisis sobre las diferencias y retos para el guiado, navegación y control eficiente hacia el objetivo (DESEi+d 2022: 64).....	35
1.3. Armas de aplicaciones y tecnologías específicas.....	37
Fabricación de un micro-motor cohete AP/HTPB/Al (DESEi+d 2022: 104).....	39
Optimización de los parámetros de impresión 3D del ácido poliláctico ligero sobre las características mecánicas del objeto fabricado (DESEi+d 2022: 195).....	40
Amplificación de la turbulencia a través de una onda de choque en régimen hipersónico (DESEi+d 2022: 215).....	41
1.4. Tecnologías de apoyo al ciclo de vida de armas y municiones.....	43
Identificación del efecto del envejecimiento sobre propulsantes de material compuesto mediante análisis de componentes principales sobre ensayos físicos y mecánicos (DESEi+d 2022: 121).....	45

Desarrollo de un código termoquímico para la evaluación de las propiedades teóricas de explosivos (CT-EXPL0) y la estimación del rendimiento de motores cohete (CT-ROCKET) (DESEi+d 2022: 214).....	46
Área 2: Sensores y sistemas electrónicos	47
2.1. Tecnologías electrónicas.....	49
Sensores altamente integrados para el control estructural de piezas metálicas y de material compuesto (DESEi+d 2022: 38).....	51
Caracterización electromagnética de redes miméticas multiespectrales hasta 110 GHz (DESEi+d 2022: 41).....	52
BLANCOK: sistema de blancos basado en láser con reconocimiento automático de impactos (DESEi+d 2022: 44).....	53
Redes neuronales aplicadas a narices electrónicas para instalaciones fijas: arcos de seguridad (DESEi+d 2022: 107).....	54
2.2. Radar.....	55
Identificación de emisiones radar mediante técnicas de inteligencia artificial (DESEi+d 2022: 83).....	57
Desarrollo de un sistema para el análisis de configuraciones MIMO para la mejora de las prestaciones de radares pasivos con aplicación al ámbito marítimo (MIRAPAMAR) (DESEi+d 2022: 84).....	58
Diseño de la cadena de procesamiento para el demostrador de un radar de apertura sintética compacto para RPAS clase I (DESEi+d 2022: 86).....	59
Detección de pulsos de radiofrecuencias mediante técnicas de análisis estadístico de orden superior. Aplicación a señales inmersas en ambientes con alta densidad de ruido (DESEi+d 2022: 122).....	60
2.3. Sensores y sistemas optrónicos.....	61
Red de sensores inalámbricos para la detección de gas sarín usando el efecto de resonancia plasmónica de superficie, fibras ópticas y nanotecnología (DESEi+d 2022: 71).....	63
Técnicas de <i>Deep Learning</i> basadas en medidas inerciales para la mejora de las capacidades de teledetección en sensores electro-ópticos embarcados (DESEi+d 2022: 87).....	64
Desarrollo de dos demostradores tecnológicos para nuevos sistemas de visión nocturna de alto rendimiento utilizando el concepto SWaP (DESEi+d 2022: 98).....	65
2.4. Sensores acústicos.....	67

Plataforma acústica de bajo coste basada en arrays de micrófonos MEMS para la detección y localización de blancos (DESEi+d 2022: 193).....	69
2.5. Procesamiento de datos de sensores.....	71
Procedimientos de planeamiento, procesado e incorporación de datos obtenidos mediante equipos USV y RPAS a la cadena de producción del Instituto Hidrográfico de la Marina (DESEi+d 2022: 29).....	73
2.6. Contramedidas optrónicas.....	75
Señuelo activo prescindible basado en memoria fotónica de RF para mejora de supervivencia en helicópteros (DESEi+d 2022: 18).....	77
Sistema electro-óptico de detección automática de amenazas contracarro (DESEi+d 2022: 123).....	78
Área 3: Tecnologías comunes a bases e instalaciones, plataformas y combatiente.....	79
3.1. Ciclo de vida.....	81
Análisis del fallo de los dos soportes del tren de aterrizaje de una aeronave (DESEi+d 2022: 29).....	83
3.2. Materiales.....	85
Incertidumbre de medición en la caracterización tribológica en un contacto duro-blando (DESEi+d 2022: 133).....	87
Tratamiento fotocalítico de aguas mediante estructuras obtenidas por fabricación aditiva (DESEi+d 2022: 179).....	88
Mejora de las propiedades térmicas de las resinas epoxi usadas en cerramientos mediante el uso de materiales de cambio de fase para aplicaciones militares (DESEi+d 2022: 185).....	89
Procesos de micromanufactura aditiva basados en transferencia inducida de material con láser (DESEi+d 2022: 217).....	90
Comportamiento a fatiga y estudio microestructural de una superaleación para discos de turbina (DESEi+d 2022: 237).....	91
Sistemas de depuración de aguas residuales para buques de la Armada: evaluación de alternativas y diseño preliminar para una F-100 (DESEi+d 2022: 24).....	92
3.3. Energía.....	93
Demostración de sistemas híbridos de potencia basados en pilas de combustible en un vehículo marino no tripulado (DESEi+d 2022: 53).....	95

Diseño y desarrollo de un reactor de reformado de glicerina para la producción de hidrógeno (DESEi+d 2022: 176).....	96
PULSMES: sistema pulsado de alta potencia basado en SMES (DESEi+d 2022: 180).....	97
Análisis de sensores de bajo coste para la medición de iluminancia solar (DESEi+d 2022: 194).....	98
Desarrollo de tecnologías para la obtención de bioelectricidad y la contribución a un entorno sostenible (DESEi+d 2022: 204).....	99
ENIGMA: aprendizaje por refuerzo para la gestión de la red eléctrica (DESEi+d 2022: 207).....	100
Optimización de la densidad energética de supercapacitores dieléctricos basados en NaCl mediante superficies de respuesta (DESEi+d 2022: 240).....	101
3.4. Logística.....	103
Análisis de riesgos logísticos en operaciones militares: un enfoque basado en la lógica difusa (DESEi+d 2022: 43).....	105
Asignación de reabastecimientos en vuelo mediante programación lineal (DESEi+d 2022: 46).....	106
Diseño, implementación y validación de una solución <i>blockchain</i> en factoría 4.0 de defensa (DESEi+d 2022: N.º 94).....	107
Algoritmo para la optimización de recursos críticos en el tiempo (DESEi+d 2022: 131).....	108
Resolución del problema de asignación de depósitos de suministros militares a puntos de demanda por medio de algoritmos bioinspirados (DESEi+d 2022: 152).....	109
Implantación de la metodología « <i>lean Six Sigma</i> » en un canal de experiencias hidrodinámicas (DESEi+d 2022: 231).....	110
Área 4: Bases e instalaciones	111
4.1. Protección de bases e instalaciones.....	113
Protección de infraestructuras mediante escudos dinámicos formados por drones (DESEi+d 2022: 88).....	115
Análisis numérico y experimental de losas de hormigón armado reforzadas a diferentes distancias escaladas (DESEi+d 2022: 130).....	116
Aplicación de tratamientos biológicos sostenibles en suelos y sedimentos contaminados por actividades militares (DESEi+d 2022: 161).....	117

Caracterización experimental de la inmisión de gas radón a través del suelo en espacios cerrados (DESEI+d 2022: 242).....	118
Gestión de la presencia de radón en la Escuela Naval Militar: determinación de concentraciones y evaluación de riesgos (DESEI+d 2022: 249).....	119
4.2. Energía en bases e instalaciones.....	121
Experiencias en el dimensionado y operación óptima de microrredes (DESEI+d 2022: 233).....	123
4.3. Modernización de bases e instalaciones.....	125
Modelos epidemiológicos: Estimadores de estado basados en información incompleta (DESEID-2020-59).....	127
Área 5: Plataformas terrestres	129
5.1. Diseño y movilidad de plataformas terrestres.....	131
Sensibilidad de vehículos militares frente a IED terrestres. Simulación numérica (DESEI+d 2022: 22).....	133
Diseño, implementación, entrenamiento y validación de un sistema de clasificación automático de las muestras de aceites lubricantes y líquidos hidráulicos basado en redes de neuronas artificiales aplicado al programa de análisis de aceites del ET (DESEI+d 2022: 26).....	134
Mantenimiento inteligente de los vehículos del Ejército a través de la tribología (DESEI+d 2022: 69).....	135
MANPREDIC: un sistema para el mantenimiento predictivo de plataformas terrestres del Ejército de Tierra (DESEI+d 2022: 57).....	136
Comportamiento experimental y numérico de paneles FML de acero inoxidable y fibra de vidrio (DESEI+d 2022: 166).....	137
Aligeramiento de blindajes para su empleo en vehículos ligeros bajo amenaza de mina (DESEI+d 2022: 252).....	138
5.2. Sistemas integrados.....	139
UAV táctico sobre plataforma portátil (DESEI+d 2022: 1).....	141
La compatibilidad del concepto de ingeniería concurrente con el desarrollo de sistemas para uso militar: el caso del Programa Escorpión (DESEI+d 2022: 228).....	142
5.3. Robótica terrestre.....	143
Caracterización dual de las competiciones de robótica espacial (DESEI+d 2022: 153).....	145

Área 6: Plataformas navales	147
6.1. Diseño de plataformas navales.....	149
La necesidad de renovar la flotilla hidrográfica del Instituto Hidrográfico de la Marina (DESEi+d 2022: 33).....	151
Diseño conceptual de un patrullero de altura: una idea para la renovación de la flota en astilleros privados (DESEi+d 2022: 79).....	152
Modelo de recuperabilidad de un buque militar (DESEi+d 2022: 139).....	153
Proceso de diseño óptimo y fabricación avanzada del casco de un vehículo acuático de superficie para ser propulsado mediante un tren de potencia híbrido baterías-pila de combustible polimérica de hidrógeno (DOVELAR) (DESEi+d 2022: 238).....	154
6.2. Control, energía y propulsión naval.....	155
Control de embarcaciones de superficie con incertidumbres y perturbaciones mediante modos deslizantes no lineales y adaptativos con convergencia en tiempo finito (DESEi+d 2022: 49).....	157
Redes neuronales artificiales (RNA): aplicación al análisis de fluidos (DESEi+d 2022: 78).....	158
Visualización del flujo aerodinámico durante el aterrizaje de un helicóptero en fragata mediante PIV (DESEi+d 2022: 112).....	159
Control de la calidad del aire y de la ventilación en buques: caso de estudio sobre predicción de presencia de CO ₂ con técnicas de <i>deep learning</i> (DESEi+d 2022: 119).....	160
Análisis de respuesta dinámica del sistema de propulsión y planta eléctrica de un buque militar (DESEi+d 2022: 136).....	161
Viabilidad de uso de biocombustibles en el ámbito naval (DESEi+d 2022: 172).....	162
Propulsión compacta en plataformas navales (DESEi+d 2022: 175).....	163
Experimentos básicos hidrodinámicos de resistencia viscosa para plataformas navales y su propulsión (DESEi+d 2022: 210).....	164
Índices de eficiencia energética IMO en buques de guerra: análisis comparativo de huella de CO ₂ (DESEi+d 2022: 223).....	165
Estudio sobre el estado actual de la hidrodinámica naval (DESEi+d 2022: 236).....	166
6.3. Sistemas integrados en plataformas navales.....	167
Distribución de sincronización precisa en sistemas navales con múltiples fuentes de reloj (DESEi+d 2022: 30).....	169

Sistema de apoyo naval para la flotilla de submarinos de la Armada en su travesía por el estrecho de Gibraltar mediante el modelado hidrodinámico (DESEi+d 2022: 114).....	170
Fabricación aditiva metálica como alternativa a la cadena de suministro tradicional: fabricación de repuestos bajo demanda en buques en alta mar) DESEi+d 2022: 149).....	171
Desarrollo y fabricación de pala de timón híbrida de una corbeta (DESEi+d 2022: 154).....	172
Sistema predictivo tierra-embarcado para plataformas navales (DESEi+d 2022: 208).....	173
6.4. Vehículo marinos no tripulados.....	175
Controlador NMPC para el posicionamiento dinámico de un ROV basado en el filtro UKF (DESEi+d 2022: 27).....	177
Aterrizaje autónomo de un VTOL-UAS sobre la cubierta de un navío en movimiento. Desafíos para un sistema de guiado, navegación y control óptimo y robusto (DESEi+d 2022: 65).....	178
Hacia una nueva generación de drones marinos: UWV (unmanned wing-in-ground vehicles) (DESEi+d 2022: 183).....	179
Aplicación de la fotogrametría subacuática en aguas someras mediante vehículos de superficie no tripulados (USV) (DESEi+d 2022: 220).....	180
Área 7: Plataformas aéreas	181
7.1. Diseño de plataformas aéreas.....	183
Fuselaje trasero disruptivo y eficiente para aeronaves de alta velocidad y ala rotatoria de uso dual (DESEi+d 2022: 4).....	185
Sustitución de la flota española de F-18 Hornet mediante una combinación de metodologías de toma de decisiones multicriterio y lógica difusa (DESEi+d 2022: 89).....	186
Estudio experimental de maniobra de rescate en montaña mediante helicóptero (DESEi+d 2022: 132).....	187
7.2. Energía y propulsión.....	189
Estudio de la rotura de un álabe de la primera etapa de una turbina de alta presión (HPT) de un motor de una aeronave (DESEi+d 2022: 39).....	191
Vectorización fluida en toberas (DESEi+d 2022: 72).....	192

Diseño, construcción y primeras medidas de una instalación para la caracterización de flujo bifásico en conductos (DESEi+d 2022: 229).....	193
Interacción plasma-espray orientada al control activo de la inyección bajo demanda (DESEi+d 2022: 230).....	194
Estudio de aplicaciones del hidrógeno y los combustibles sostenibles para Ejército del Aire en el entorno operativo 2035+ (DESEi+d 2022: 247).....	195
7.3. Aviónica / C4I para sistemas aéreos.....	197
Propagación de llamas premezcladas en microcanales estrechos (DESEi+d 2022: 5).....	199
SAFETERM: sistema de terminación segura del vuelo (DESEi+d 2022: 21).....	200
Análisis de riesgos asociados al vuelo de sistemas aéreos no tripulados en zonas habitadas (DESEi+d 2022: 61).....	201
Determinación de estrategias óptimas de evasión y supervivencia de aviones de sexta generación contra enjambres de drones y misiles hipersónicos mediante redes neuronales artificiales y dispositivos de energía dirigida (DESEi+d 2022: 62).....	202
Definición y análisis de un sistema de radiofrecuencia de alta potencia para anulación física de RPAS (DESEi+d 2022: 99).....	203
Análisis comparativo del torbellino de punta de ala de un MAV con geometría <i>morphing</i> (DESEi+d 2022: 135).....	204
Efecto en la precisión en el aterrizaje de paracaídas autónomos de la configuración carga de pago-superficie de la vela (DESEi+d 2022: 138).....	205
Volúmenes finitos. Un método para el análisis aerodinámico de estatorreactores (DESEi+d 2022: 158).....	206
Aerodinámica de estatorreactores: la importancia de la sensibilidad de malla en el tratamiento de análisis numérico (DESEi+d 2022: N.º 159).....	207
Resistencia no estacionaria en esferas para el estudio de formación de hielo en plataformas aeronáuticas (DESEi+d 2022: 211).....	208
7.4. RPAS.....	209
Modelado y control para la suelta y despliegue de « <i>low-cost-attributable</i> » UAV desde aeronaves en vuelo (DESEi+d 2022: 55).....	211
Automatización de maniobras evasivas no-planares aplicadas a sistemas aéreos no tripulados de altas prestaciones (DESEi+d 2022: 57).....	212

Área 8: Sistemas espaciales	213
8.1. Segmento espacio.....	215
Space situational awareness: el caso de UPMSAT-2 (DESEi+d 2022: 52).....	217
Radar cuántico para la detección de <i>space debris</i> en órbitas LEO (DESEi+d 2022: 128).....	218
8.2. Segmento terreno.....	219
La estación láser del Real Instituto y Observatorio de la Armada (DESEi+d 2022: 31).....	221
<i>Satshield-Project, Think-Tank</i> para el análisis, definición de alcance, riesgos, y propuesta para seguimiento y eliminación de micro desechos espaciales (DESEi+d 2022: 67).....	222
Mejoras en la precisión y estabilidad de los datos para búsqueda de satélites y basura espacial (DESEi+d 2022: 111).....	223
Determinación de órbita de basura espacial mediante la fusión de medidas ópticas, radar y láser (DESEi+d 2022: 155).....	224
8.4. Sistemas complementarios.....	225
Retos futuros en la vigilancia y seguimiento de objetos espaciales (DESEi+d 2022: 241).....	227
Área 9: Combatiente	229
9.1. Sistema combatiente.....	231
Hoja de ruta para el desarrollo de exoesqueletos militares (DESEi+d 2022: 8).....	233
Sistemas de protección personal avanzados mediante impresión 3D basados en estructuras auxéticas (DESEi+d 2022: 15).....	234
Desarrollo e implementación de una red de sensores distribuida de bajo consumo y de área extensa (LPWAN) para el Internet de las cosas del campo de batalla (IOBT) (DESEi+d 2022: 63).....	235
Comportamiento balístico de simulante de tejido óseo fabricado mediante impresión 3D (DESEi+d 2022: 169).....	236
Mejora de la capacidad hidrofugante del traje mimético de la Infantería de Marina de la Armada mediante el uso de nanohidrófugos y microtexturización láser (DESEi+d 2022: 173).....	237
Respirador mecánico robusto, y de fabricación fácil y rápida para entornos de emergencias (DESEi+d 2022: 192).....	238

9.2. Factores humanos.....	239
Sistema de experimentación en simulación inmersiva para integración de acciones en el ámbito del estudio de factores humanos (DESEi+d 2022: 66)..	241
El efecto de la siesta estratégica tras guardias de 24 horas: un estudio experimental en conducción simulada (DESEi+d 2022: 219).....	242
Área 10: NRBOe	243
10.1. Tecnologías para C-IED.....	245
Proyecto I+D PRINSE-APC-APC: protección de infraestructuras -paredes ordinarias de mampostería- contra los efectos producidos por grandes explosiones (coches bomba) (DESEi+d 2022: 7).....	247
Diseño optimizado de barreras perimetrales de protección (basadas en bloques de hormigón en forma de T invertida) frente a grandes explosiones mediante el uso de dispositivos de absorción de energía (DESEi+d 2022: 16).....	248
Sistemas radar de alta resolución embarcados en UAV para la detección de IED (Proyecto SAFEDRON€) (DESEi+d 2022: 75).....	249
10.2. Defensa BRBO.....	251
Protocolos de aislamiento y cuantificación de SR-90 en orina en escenarios de rutina y emergencia radiológica (DESEi+d 2022: 32).....	253
Integración de la ionización bipolar en un climatizador para la mejora de la calidad biológica del aire respirado (DESEi+d 2022: 34).....	254
Redes de narices electrónicas desplegables en escenarios de catástrofes (DESEi+d 2022: 35).....	255
Évaluación de la protección de melatonina como agente multidiaria para el tratamiento y recuperación de bajas generadas por agresivos químicos vesicantes (DESEi+d 2022: 54).....	256
Identificación molecular de <i>Coxiella burnetii</i> por PCR en tiempo real en muestras ambientales (DESEi+d 2022: 70).....	257
Identificación de <i>Vibrio cholerae</i> mediante inmunobiosensado de un factor de virulencia dependiente de Quorum Sensing (DESEi+d 2022: 82).....	258
Drones detectores de sustancias NRBO en atmósferas explosivas (DESEi+d 2022: 148).....	259
Mejora de los sensores de gases de guerra químicos a través del «Deep Learning» (DESEi+d 2022: 81).....	260

Área I I: Tecnologías de la información, comunicaciones y simulación	261
I I.1. Sistemas de información para C4I.....	263
Sistema de gestión de evacuación frente a catástrofes (DESEI+d 2022: 8).....	265
Herramienta de evaluación de amenaza e impacto de ataques terroristas (DESEI+d 2022: 59).....	266
Análisis de la aplicación de las técnicas de <i>big data</i> en defensa y seguridad. El Caso de la invasión de Ucrania (DESEI+d 2022: 80).....	267
POSINT.IA: plataforma OSINT basada en técnicas de IA para la monitorización de la comunidad de defensa en Twitter (DESEI+d 2022: 91)...	268
Procesamiento de audio y lenguaje natural para el análisis de ejercicios en lanchas de instrucción (DESEI+d 2022: 96).....	269
Estimación de canal de comunicaciones inalámbrico para despliegues de <i>array</i> de antenas masivos (DESEI+d 2022: 142).....	270
Análisis de datos AIS en tiempo real para la detección de anomalías en el entorno marítimo (DESEI+d 2022: 144).....	271
Algoritmo de visualización ágil para la definición geométrica de túneles subterráneos a partir de la tecnología UDAR (DESEI+d 2022: 171).....	272
Detección automática de discurso de odio en redes sociales (DESEI+d 2022: 182).....	273
Propuesta de modelo de sistema de información para su implantación en un gemelo digital oceanográfico (DESEI+d 2022: 209).....	274
I I.2. Comunicaciones tácticas.....	275
5G para comunicaciones tácticas (DESEI+d 2022: 2).....	277
Securización de comunicaciones tácticas mediante espectro ensanchado cuántico (DESEI+d 2022: 3).....	278
Operaciones de entrenamiento y comunicación militar basadas en el metaverso (DESEI+d 2022: 9).....	279
Diseño e implementación de un prototipo de radio definida por <i>software</i> de bajo coste desplegable sobre la red radio combate (RCC) (DESEI+d 2022: 85)....	280
De múltiples sistemas embarcados a un sistema de sistemas con nuevo enfoque en las comunicaciones tácticas (DESEI+d 2022: 118).....	281
Aplicaciones de las técnicas de transmisión <i>In-Band Full Duplex</i> en el ámbito militar (DESEI+d 2022: 189).....	282

El Proyecto DISCRETION: redes definidas por <i>software</i> y criptografía cuántica en comunicaciones para la defensa (DESEi+d 2022: 246).....	283
Análisis de uso de radio cognitiva en redes militares tácticas (DESEi+d 2022: 253).....	284
11.3. Simulación.....	285
Integración de sistema BCI en simulador de vuelo (DESEi+d 2022: 56).....	287
Simulación y validación de imágenes ISAR pasivas de embarcaciones en ruta utilizando señales TDT (DESEi+d 2022: 73).....	288
Desarrollo de un simulador de tiro con tecnología inmersiva mediante realidad virtual (DESEi+d 2022: 110).....	289
Diseño y fabricación de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego (DESEi+d 2022: 243).....	290
11.4. Aplicación a defensa de avances en tecnologías TIC.....	291
Planificación de rutas para múltiples drones usando redes neuronales profundas <i>Transformer</i> (DESEi+d 2022: 137).....	293
Ensayos PNT orientados a la resiliencia de sistemas de seguridad y defensa (DESEi+d 2022: 203).....	294
Estado del arte de los amplificadores de potencia CMOS para antenas activas matriciales (DESEi+d 2022: 248).....	295
Área 12: Ciberdefensa	297
12.1. Automatización de acciones ante ciberataques.....	299
Caracterización físico-digital de infraestructuras críticas para detección, categorización y predicción automatizada de ciberataques (DESEi+d 2022: 42).....	301
La gestión de ciberincidentes en el ámbito de la prestación de los denominados servicios esenciales (DESEi+d 2022: 134).....	302
12.2. Ciberinteligencia para el análisis predictivo de vulnerabilidades.....	303
Modelado de sistemas ciberfísicos para análisis de vulnerabilidades (DESEi+d 2022: 251).....	305
12.3. Tecnología en apoyo a ciberoperaciones.....	307
Orquestador de despliegue de infraestructura en la nube (ODIN) (DESEi+d 2022: 93).....	309
Aplicación de S-SDLC a aplicaciones <i>software</i> de defensa (DESEi+d 2022: 117).....	310

<i>Testbed</i> para defensa ante amenazas híbridas contra redes eléctricas (DESEi+d 2022: 224).....	311
12.4. Criptografía para incrementar la seguridad de las comunicaciones.....	313
Mejora de la eficiencia de funciones no-clonables físicamente integrando líneas de retardo programables (DESEi+d 2022: 25).....	315
Estrategias de selección de osciladores en una PUF de oscilador de anillo para optimizar su comportamiento (DESEi+d 2022: 244).....	316
Área 13: Sociedad, economía y humanidades	317
13.1. Modelos socioeconómicos.....	319
Implantación del camino ascendente de Analytics en beneficio de la gestión de personal (DESEi+d 2022: 74).....	321
Tecnología, innovación y economía: repensando su papel para las Fuerzas Armadas del siglo XXI (DESEi+d 2022: 103).....	322
13.2. Instrucción y educación.....	323
Scrum y la física de explosivos. Una metodología de aprendizaje (DESEi+d 2022: 6).....	325
Manual operativo del sistema de análisis de validez en la evaluación (MOSAVE) (DESEi+d 2022: 37).....	326
Desarrollo de modelos de evaluación de la complejidad, aprendizaje y desempeño en el entorno de simuladores NAVANTIS (DESEi+d 2022: 143).....	327
Actuación y formación de la Guardia Civil en delitos por sumisión química con víctimas menores de edad (DESEi+d 2022: 178).....	328
Diseño del casco de un submarino de propulsión humana para competición (DESEi+d 2022: 186).....	329
Implementación de la metodología Design Thinking en la materia de Expresión Gráfica en grados de ingeniería (DESEi+d 2022: 196).....	330
Propuesta de programa de Doctorado en Tecnología de doble uso y sistemas de gestión en seguridad y defensa por la Universidad Politécnica de Cartagena (DESEi+d 2022: 221).....	331
Implantación y desarrollo de servicios innovadores en las bibliotecas AGM-CUD de los colegios generales y la Biblioteca del CUD-ENM (DESEi+d 2022: 234).....	332

13.3. Geografía, política y derecho.....	333
Análisis de la sensibilidad de las imágenes del satélite PAZ para la obtención de cartografía de tipos de combustible en el CENAD «San Gregorio» (DESEi+d 2022: 48).....	335
Estado del proyecto de desarrollo de un modelo para la materialización de una superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH) (DESEi+d 2022: 115).....	336
La Brújula Estratégica de la UE y el planeamiento de la OTAN ante los nuevos escenarios de la seguridad y la defensa (DESEi+d 2022: 163).....	337
Desarrollo de una nueva proyección cartográfica con la capacidad de proyectar toda la Tierra y con la capacidad de autorecentrarse con la que se mejoran las deformaciones lineales con respecto a la proyección UTM (DESEi+d 2022: 232).....	338
13.4. Psicología y humanidades.....	339
Las redes sociales de la defensa: presencia, estrategia y alcance (DESEi+d 2022: 36).....	341
Factores vertebrales a desarrollar en materia de seguridad nacional e internacional: una visión desde los jóvenes universitarios (DESEi+d 2022: 40).....	342
Efecto del mindfulness en los patrones cartográficos cerebrales durante la simulación de conducción de vehículos militares (DESEi+d 2022: 254).....	343



Prólogo

¡La celebración del IX Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d 2022) es una extraordinaria noticia!

Entre los objetivos principales de este congreso se encuentra el de potenciar las actividades de I+D+i, ya que supone una excelente oportunidad para presentar y difundir los avances tecnológicos en los que está trabajando la base tecnológica industrial y que pueden aportar beneficios tecnológicos, sociales y económicos a nuestras Fuerzas Armadas y Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, pero también para toda la ciudadanía.

En estas últimas décadas, ha tenido un papel esencial el creciente peso de las tecnologías de uso dual, que favorecen el aprovechamiento de las sinergias existentes entre las necesidades del ámbito de defensa y seguridad y del sector civil.

El uso de fondos europeos en proyectos de I+D+i con fines civiles gestionados a nivel nacional ha supuesto un notable empuje en la capacitación y desarrollo del tejido tecnológico español. Desde la perspectiva de defensa, resulta de especial interés aquellas inversiones con posibilidades de uso dual, dado su potencial para disminuir los plazos de desarrollo de los proyectos dirigidos específicamente a defensa, así como por el efecto multiplicador en el crecimiento y desarrollo de las entidades del tejido tecnológico nacional, que ven ampliados los posibles mercados a los que dirigir sus productos.

En este mismo sentido, no podemos dejar de mencionar la importancia en Europa de la innovación en defensa. Desde hace años, la necesidad de potenciar la innovación en defensa está siendo discutida y promovida por el conjunto de organismos internacionales con responsabilidades en el desarrollo tecnológico del sector de la defensa. Se es consciente del factor diferenciador que pueden suponer los avances tecnológicos en la defensa y seguridad global, y de los riesgos que pueden suponer para Europa y para la Alianza el quedarse atrás en ámbitos en los que existe un mayor potencial de disrupción. En este contexto, se están poniendo en marcha iniciativas encaminadas a aprovechar el enorme empuje innovador cada vez más presente en las sociedades actuales, a través de planteamientos muy novedosos dirigidos a promover el descubrimiento y desarrollo de nuevas ideas que ayuden a consolidar un ecosistema de defensa innovador a nivel europeo y OTAN.

Almirante D. Aniceto Rosique Nieto
Director general de Armamento y Material
Secretaría de Estado – Ministerio de Defensa



Presentación

La novena edición del Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad tendrá lugar en Pontevedra, en las instalaciones de la Base General Morillo, sede principal de la Brigada Galicia VII, los días 15, 16 y 17 de noviembre. Esta brigada es una de las más jóvenes de nuestro Ejército, sin embargo, ya dispone de un rico, variado y meritorio legado de hechos relevantes tanto en las operaciones en el exterior como en actuaciones en suelo patrio, que la identifican como una gran unidad.

Desde el Comité Director de este Congreso, el cual presido en esta edición, quisiera transmitir de nuevo este año, la importancia de que la celebración del congreso vaya alternando entre distintas comunidades autónomas e instalaciones, ya que se considera que entre los beneficios destacables derivados del DESEi+d 2022, se encuentran el conocimiento de las capacidades de universidades, centros de investigación e industria ubicada en las distintas zonas de celebración de los eventos y el apoyo al crecimiento de la cultura de defensa en estas regiones.

Dada la favorable evolución de la pandemia en la que hemos estado inmersos estos últimos años, el DESEi+d regresa a su modalidad presencial, fomentando de esta manera la relación entre el ámbito civil y el militar y las futuras actividades que puedan surgir de estos eventos.

La estructura del congreso se mantendrá con el mismo formato de las ediciones anteriores, constando de una mesa plenaria de alto nivel cada uno de los tres días, en las que intervienen destacados representantes de organismos y entidades públicas y privadas con responsabilidades en I+D+i, de la cuales se puedan obtener orientaciones de interés en relación a aspectos cruciales para el presente y el futuro de la I+D+i de aplicación a defensa y seguridad y la presentación de las comunicaciones presentadas en distintas aulas en paralelo, que se presentan en este libro. Las áreas temáticas de estas comunicaciones, están alineadas con la política de I+D+i de la defensa, recogida dentro de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020).

Como en las últimas cinco ediciones anteriores, a la mejor comunicación presentada se le otorgará el premio Isdefe «Antonio Torres» y como novedad en esta edición cabe destacar la primera edición del premio «Estudiante universitario Isdefe», con objeto de premiar los trabajos realizados por jóvenes estudiantes universitarios y con el que pretende dar reconocimiento y visibilidad al esfuerzo y talento universitario, acercando a los protagonistas de la universidad al mundo de la investigación, la industria y las instituciones de la defensa y seguridad.

Desde la SDG PLATIN quisiera agradecer su participación en este congreso, deseando que sea de su interés.

General de división D. José Luis Murga Martínez
Subdirector general de Planificación, Tecnología e Innovación de la Dirección General de Armamento y Material - Ministerio de Defensa
Presidente del Comité Director del Congreso DESEi+d 2022

Comité Director y Científico

Comité Director (CODIR)

El Comité Director (CODIR) se constituye como órgano de apoyo a la dirección y organización del congreso.

- Presidente - GD D. José Luis Murga Martínez (subdirector general de Planificación, Tecnología e Innovación)
- Vicepresidente - GB D. Juan Manuel Sánchez Aldao (subdirector general de Enseñanza Militar)
- Vocal - D. Francisco José Gómez Ramos (CUD Zaragoza)
- Vocal - D. José Martín Dávila (CUD Marín)
- Vocal - D. Nicolás Madrid García (CUD San Javier)
- Vocal - D. Natalio García Honduvilla (CUD Madrid)
- Vocal - D. Ildefonso Vera Gómez (Isdefe)
- Secretario - Cte. D. Carlos Calderón Carnero (SDG PLATIN)

Comité Científico (COCIEN)

Su misión principal será coordinar la revisión, clasificación, análisis y evaluación de los artículos técnicos recibidos.

- Presidente - Dr. D. Arturo González Gil (CUD Marín)
- Vocal - Col. CIEA D. Juan Manuel González del Campo Martínez (SDG PLATIN)
- Vocal - Dr. D. Natalio García Honduvilla (CUD Madrid)
- Vocal - Dr. D. Miguel Ángel Urbiztondo Castro (CUD Zaragoza)
- Vocal - Dr. Germán Rodríguez Bermúdez (CUD San Javier)
- Vocal - Dra. M.^a Teresa Martínez Inglés (CUD San Javier)
- Vocal - D.^a Belinda Misiego Tejera (Isdefe)
- Secretaria - Dra. D.^a María Álvarez Hernández (CUD Marín)

DESE

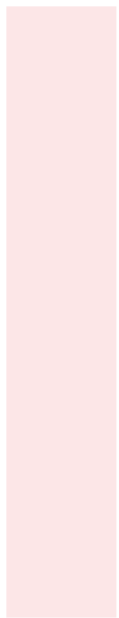


**Área I - Armas y
municiones**

DESE



I.1. Tecnologías de armas y municiones





Desarrollo de detonadores libres de plomo para uso militar (DESEi+d 2022: 23)

Angel Cobo Curiel y Zaira Monasterio Peiteado

Con objeto de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los riesgos que pueden presentar los productos químicos, la normativa Reach regula y controla el uso de ellos. El plomo, es objeto de esta normativa y ha sido utilizado en la fabricación de partes metálicas, cerámicas, tratamientos superficiales y fabricación de explosivos primarios. El plomo está siendo sustituido progresivamente, sin embargo, presenta un gran desafío en la industria militar por las modificaciones que plantea.

La ácido de plomo (Lead Azide) y el estifnato de plomo (Lead Styphnate) son dos explosivos primarios muy sensibles al roce, choque y descarga eléctrica. Se utilizan principalmente en la fabricación de pastas iniciadoras (que posteriormente conformarán *primers* (o fulminantes), detonadores y como vía de transmisión a otros elementos de una cadena pirotécnica. Muchos detonadores y *primers* han sido estandarizados bajo normativa, definiendo carga, potencia, tamaño y funcionamiento. Cualquier variación sobre su definición, requiere de un elevado número de pruebas para verificar todas sus características. Estos explosivos están presentes en todos los detonadores de espoletas.

Durante estos últimos años, Expal ha estado trabajando en el estudio de viabilidad del uso de alternativas a los explosivos primarios con plomo para configurar detonadores. Se han identificado posibles sustitutos, entre los que se encuentran un tipo de sal de Zinc (ZTCD), una sal potásica de dinitrobenzofuroxano (KDNBF) y una sal de dinitrofenol (DDNP). El objetivo principal es mantener la geometría del detonador para evitar modificar la espoleta y el cumpliendo del estándar del detonador al cual se le ha modificado la carga o la iniciadora para contener estos nuevos explosivos primarios.

Este trabajo presenta los resultados del uso de estas variantes de explosivo primario en detonadores de uso militar y el planteamiento futuro de cadenas pirotécnicas libres de plomo.

Actualización tecnológica de las pruebas de estabilidad sobre propulsantes de doble base (DESEi+d 2022: 105)

Víctor Duro de la Merced y Raúl López Sánchez

Las pruebas de vigilancia sobre pólvoras de base nitrocelulósica implican una amplia batería de ensayos químicos, enfocados principalmente a garantizar la seguridad en el almacenamiento de estos materiales energéticos. Entre todas estas pruebas, solo un grupo de ellas permite obtener datos fenomenológicos de la pólvora que están directamente relacionados con su seguridad: las pruebas de estabilidad. Estos tests han sufrido una progresiva pérdida de peso en la toma de decisiones porque, en muchos países, se consideran desfasadas, principalmente debido a las numerosas interferencias experimentales y al anticuado sistema de adquisición de datos: una apreciación subjetiva de cambio de color, durante largos periodos de tiempo, mediante papeles indicadores especiales.

En el presente documento se discuten las ventajas e inconvenientes de los ensayos clásicos, mostrando, a continuación, una propuesta de actualización tecnológica mediante el uso de sensores semiconductores quimioresistivos de óxidos metálicos. Los resultados muestran que es posible respetar la principal ventaja de las pruebas clásicas a la vez que se superan la mayor parte de sus limitaciones, además de obtener gran información adicional que aún debe ser estudiada en profundidad. En la última parte del presente manuscrito, se presenta una validación de la metodología propuesta utilizando dos pólvoras nitrocelulósicas para realizar una discusión final sobre las principales ventajas que representaría la actualización tecnológica de las pruebas de vigilancia mediante el sistema propuesto.

Influencia de las cadenas libres en la viscoelasticidad de compositas: estudio por DMA (DESEi+d 2022: 106)

José Alberto Andreu García, David Saavedra, David Baza Herrero, Raúl López Sánchez, Alicia Salazar López y Jesús Rodríguez Pérez

La viscoelasticidad, en propulsantes sólidos de tipo composita, es una de las propiedades mecánicas más relacionadas con el estado de utilidad de un material energético y, sin embargo, todavía se encuentran bajo estudio cuáles son los valores críticos que influyen en la toma de decisiones de las pruebas de vigilancia. Durante el envejecimiento natural de las compositas ocurren procesos químicos que modifican sus propiedades mecánicas, tales como entrecruzamientos o rupturas de cadenas en la matriz polimérica. Aunque existan técnicas para la determinación del entrecruzamiento, el análisis dinámico-mecánico, DMA, continúa siendo técnica de referencia para cuantificar la viscoelasticidad. Además, actualmente, existe una controversia en la relación de los termogramas de DMA con el porcentaje de cadenas libres y la viscoelasticidad. Algunos autores proponen, otros niegan, una relación directa entre las cadenas libres y la magnitud de la banda gamma del termograma.

En el presente documento se expone un estudio experimental con compositas envejecidas. Mediante procesos de deconvolución, donde se estudia la citada relación, se han alcanzado elevadas cotas de precisión en la cuantificación de la banda gamma, donde se muestran nuevos indicios que soportan la influencia de las cadenas libres en la viscoelasticidad.

Relajación de compositas a esfuerzos cíclicos (DESEi+d 2022: 109)

Alonso Cuartero Mondoño, Raúl López Sánchez, Alicia Salazar López y Jesús Rodríguez Pérez

La relajación es un proceso físico íntimamente relacionado con el comportamiento viscoelástico de los cauchos. En los propulsores sólidos de tipo composita el envejecimiento natural degrada las propiedades mecánicas, afectando a la necesaria respuesta viscoelástica del material energético. En ediciones anteriores del DESEi+d se ha presentado comparativas entre diferentes tipos de ensayos de relajación con el objetivo de maximizar la información obtenida para, por ejemplo, cuantificar el tiempo de relajación en compositas envejecidas.

En el presente documento, se ahonda en temática de la relajación mediante esfuerzos cíclicos, realizando nuevos estudios en control de desplazamiento sobre dos motores (aceleración y crucero) de un mismo cohete, utilizando probetas tipo CT y a una frecuencia de 0,5 Hz. Este estudio sigue utilizando los mismos materiales que en años anteriores pero, en esta ocasión, con algunos años adicionales de envejecimiento natural. Además, en la parte final del documento, se realiza una discusión sobre la relación de los resultados obtenidos con propiedades físicas del material energético relacionadas con su estado de utilidad tales como el tamaño de hueco en la matriz del polibutadieno.

DESE



1.2. Tecnologías de integración e interoperabilidad de armas



Munición exploradora basada en sistemas aéreos no tripulados convencionales. Un análisis sobre las diferencias y retos para el guiado, navegación y control eficiente hacia el objetivo (DESEi+d 2022: 64)

Sebastián C. Méndez Velasquez, Iker Camiruaga Gojenola y Miguel Ángel de Frutos Carro

Los conflictos más recientes han puesto en evidencia la creciente relevancia en el campo de batalla de la *munición exploradora*, una combinación entre vehículo aéreo no tripulado y munición guiada, capaz de permanecer en posición sobre la zona de conflicto, respondiendo de manera rápida y muy selectiva contra aquellos objetivos no identificados previamente y que emergen de forma repentina suponiendo un claro riesgo para los activos desplegados.

La diferencia con la munición guiada inteligente, se basa pues en dos factores claves: no es necesario designar el objetivo antes del lanzamiento, pudiendo permanecer en el aire explorando la zona hasta la identificación y confirmación del blanco; y que su ataque, más selectivo, puede ser fácilmente abortable.

Por otro lado, se diferencian de los sistemas aéreos no tripulados tradicionales en su capacidad para portar una cabeza de combate, costes de producción más asequibles y la capacidad de realizar una maniobra de picado contra un blanco en movimiento. Estas diferencias limitan el uso de cualquier sistema UAS no diseñado para tal fin, al presentar una serie de retos tanto de plataforma, operación, como de la capacidad de guiado y control durante la maniobra de descenso.

Este trabajo presenta, desde el punto de vista del guiado, navegación y control, un análisis de las diferencias y retos respecto a los sistemas UAS convencionales que se deben tener en cuenta para el diseño de un sistema de control robusto, seguro y eficiente, que permita el guiado de la aeronave en su trayectoria de descenso hacia el blanco establecido. Mediante la utilización de simulación (HIL) se probarán diversas estrategias de intercepción e interrupción de la maniobra, dependiendo de las capacidades de la plataforma y dinámica del objetivo, para, finalmente, presentar los resultados de ensayos de vuelo en entornos relevantes controlados que validen los escenarios y estrategias empleadas.

DESE



1.3. Armas de aplicaciones y tecnologías específicas



Fabricación de un micro-motor cohete AP/HTPB/Al (DESEi+d 2022: 104)

David Chimeno Saavedra, María Ángeles Contreras Jaén, Raúl López Sánchez, Alicia Salazar López y Jesús Rodríguez Pérez

La pérdida de propiedades mecánicas, por el envejecimiento natural al que se ven sometidos los motores de composita durante su almacenamiento, es el principal responsable de los fallos catastróficos que se producen en la etapa de lanzamiento de cohetes y misiles. En el caso de los propulsores de tipo composita, el mecanismo de fallo es principalmente mecánico. La cuantificación de su degradación continúa hoy en día, siendo uno de los mayores retos a los que se enfrentan las pruebas de vigilancia. Con el fin de obtener materiales envejecidos en un tiempo razonable, se realizan envejecimientos acelerados en condiciones de laboratorio, muchas veces sobre muestras con más de 20 años de servicio y, puede que con varias extensiones de vida, lo que provoca imprecisiones en la estimación de la fecha de fabricación del grano y el histórico de cargas al que ha sido sometido. Por ello, y ante la ausencia de valores de referencia para una correcta caracterización químico-física del material, resulta relevante la fabricación de pequeñas cantidades de propulsante *virgen* que sirva como punto de partida para conocer los mecanismos de degradación.

En esta comunicación se discute y detalla el proceso de fabricación de un propulsante sólido AP/HTPB/Al, la clasificación de sus componentes, el proceso empleado para su fabricación y las propiedades del producto.

Optimización de los parámetros de impresión 3D del ácido poliláctico ligero sobre las características mecánicas del objeto fabricado (DESEi+d 2022: 195)

Jorge Gallego Veiga, Carlos Casqueiro Placer y Andrés Suárez García

El sector de la impresión 3D o fabricación aditiva es un ámbito en constante desarrollo. Quedan muchas técnicas, materiales y usos por explorar. Desde hace unos años, la impresión 3D no está limitada al uso decorativo o ser un pasatiempo más. Se ha convertido en un pilar fundamental de las grandes industrias productoras. El fin último de esta tecnología es el de conseguir un producto totalmente personalizable, utilizando el menor material posible. Actualmente, el mercado ofrece una amplia cantidad de materiales para los distintos medios de impresión y parámetros de configuración final de las impresoras. Este trabajo se centró en el ácido poliláctico ligero, material prometedor del que existe escaso material bibliográfico debido a su reciente aparición. Mediante superficies de respuesta, se logró encontrar la combinación óptima de parámetros de fabricación que maximiza sus propiedades mecánicas dentro de los parámetros permitidos por la impresora utilizada.

Amplificación de la turbulencia a través de una onda de choque en régimen hipersónico (DESEi+d 2022: 215)

Alberto Cuadra Lara, César Huete Ruiz de Lira y Marcos Vera Coello

El interés por el desarrollo de armas hipersónicas está aumentando en los últimos años de forma notable. Las principales potencias mundiales han ensayado con éxito misiles hipersónicos de crucero, que, a diferencia de sus competidores directos (misiles balísticos o de crucero subsónico), ofrecen maniobrabilidad a velocidades que superan en un factor de orden 5 la velocidad del sonido. No obstante, aún existen fuertes barreras tecnológicas que impiden que estos misiles puedan considerarse una alternativa fiable en el corto plazo. Las altas cargas térmicas que afectan a la estructura, la formación de plasma inducido por intensas ondas de choque que interfiere con la comunicación, así como la estabilidad aerodinámica por la presencia de zonas turbulentas en órbitas bajas son problemas de gran envergadura técnica. En este trabajo, calculamos el incremento de la intensidad de la turbulencia al atravesar una onda de choque en régimen hipersónico, el cual tiene interés en los tres problemas mencionados. Encontramos que la intensidad y la energía cinética turbulenta (TKE) de las fluctuaciones se amplifican más a través del choque que en el caso con química congelada (régimen no hipersónico). Además, el número de Reynolds turbulento también se amplifica a través del choque para números de Mach hipersónicos en presencia de disociación y excitación vibratoria, a diferencia de la atenuación observada en el caso con química congelada. La presencia de múltiples especies químicas remodela la curva TKE vs el número de Mach incidente generando dos máximos que se ajustan bastante bien a los procesos de disociación del O_2 y N_2 . Las condiciones de salto sin perturbaciones a lo largo del choque se calculan utilizando Combustion Toolbox, un código termoquímico propio capaz de capturar fenómenos de alta temperatura como disociación, ionización y recombinación en mezclas multicomponente, que resultan ser los efectos dominantes en los choques hipersónicos en aire.

DESE



1.4. Tecnologías de apoyo al ciclo de vida de armas y municiones



Identificación del efecto del envejecimiento sobre propulsores de material compuesto mediante análisis de componentes principales sobre ensayos físicos y mecánicos (DESEi+d 2022: 121)

Mario Martínez Sánchez, Raúl López Sánchez, David Chimeno Saavedra, Alicia Salazar López y Jesús Rodríguez Pérez

Las pruebas de vigilancia someten a los propulsores sólidos de material compuesto a una batería de pruebas, principalmente físicas y mecánicas, cuya finalidad principal es la de garantizar la seguridad de estos materiales energéticos durante la etapa de lanzamiento. La aparición de grietas y la pérdida de propiedades mecánicas (e.g., viscoelasticidad) son, entre otras, consecuencias indeseables del envejecimiento natural al que, irremediablemente, se encuentran sometidos estos propulsores durante sus largos periodos de almacenamiento.

La interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas de vigilancia es complicada, principalmente debido al elevado número de pruebas realizadas y, además, a las pequeñas variaciones que se obtienen en cada una de las propiedades analizadas. En el presente documento se muestra un método sencillo que permite el análisis conjunto de las pruebas físicas y mecánicas mediante un método multivariante: el análisis de componentes principales o PCA. Con el método propuesto se reduce la dimensionalidad de la matriz de datos inicial, pero manteniendo la mayor parte de la información. Los resultados presentados han permitido identificar qué propiedades físicas se ven más afectadas por el envejecimiento, mostrando una tendencia relacionada con el envejecimiento. Además, este método permite distinguir dos motores, con dos niveles de envejecimiento, en base a las propiedades físicas. La discusión final de resultados postula que, mediante esta metodología, se está dando el primer paso para alcanzar la necesaria cuantificación de la influencia del envejecimiento sobre los propulsores sólidos de material compuesto.

Desarrollo de un código termoquímico para la evaluación de las propiedades teóricas de explosivos (CT-EXPLO) y la estimación del rendimiento de motores cohete (CT-ROCKET) (DESEi+d 2022: 214)

Alberto Cuadra Lara, César Huete Ruiz de Lira y Marcos Vera Coello

En este trabajo se presenta un código termoquímico (en adelante Combustion Toolbox, CT) para el cálculo de problemas de combustión gaseosa con especies condensadas. En particular, se exponen dos de los cuatro módulos que lo componen: CT-EXPLO y CT-ROCKET. El primero permite evaluar las propiedades termodinámicas teóricas de materiales energéticos (altos explosivos y propulsantes). El segundo permite estimar el rendimiento teórico de motores cohetes considerando una cámara de combustión finita con área transversal constante. Las propiedades termodinámicas de las especies químicas se modelan con la ecuación de estado semiempírica BKW en CT-EXPLO y la ecuación de estado del gas ideal en el resto de los módulos. Las propiedades termoquímicas se obtienen de una versión actualizada de los ajustes polinómicos de 9 coeficientes de la NASA que utiliza la base de datos termoquímicos Third millenium para combustión de gases ideales y fases condensadas, con actualización de tablas termoquímicas activas. La herramienta está equipada con una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada en MATLAB y se ha utilizado con éxito tanto a nivel docente como investigador durante los últimos años. Si bien CT-EXPLO se encuentra aún en fase de desarrollo, el resto de los módulos han pasado la fase de validación y los resultados están en excelente acuerdo con códigos de referencia: CEA de la NASA, CANTERA junto con el paquete SD-Toolbox del Caltech, y el código TEA. Salvo el módulo de explosivos CT-EXPLO, que es de difusión limitada, el resto de Combustion Toolbox está sujeto a una licencia de código abierto GPLv3 a través de https://github.com/AlbertoCuadra/combustion_toolbox y su documentación se puede encontrar en su página web <https://combustion-toolbox-website.readthedocs.io>.

DESE



**Área 2: Sensores
y sistemas
electrónicos**

DESE



2.1. Tecnologías electrónicas





Sensores altamente integrados para el control estructural de piezas metálicas y de material compuesto (DESEi+d 2022: 38)

Sergio González, Nicolás Gutiérrez, Rosario Fernández y Fernando Lasagni

La monitorización de la salud estructural (SHM) consiste en la evaluación de la integridad estructural mediante la adquisición y el análisis de datos de sensores integrados. La monitorización basada en redes de Bragg de fibra óptica (FBG) atrae cada vez con más fuerza a la comunidad industrial que trabaja en aplicaciones SHM, debido a sus múltiples ventajas, como por ejemplo: inmunidad electromagnética, peso y tamaño insignificantes y disponibilidad de multiplexación. Sin embargo, la integración de fibra óptica dentro de una estructura aún requiere nuevos procedimientos que aseguren la supervivencia de los sensores. Por otro lado, las técnicas de tratamiento de señales y análisis de datos, así como la implementación de inteligencia artificial para aumentar la fiabilidad de la tecnología y explotar todo su potencial son objeto de investigación en el campo de SHM.

Esta investigación se divide en dos casos de éxito: en el primero, se instalan cinco sensores FBG integrados en un ala de un sistema aéreo no tripulado para correlacionar las condiciones operativas con la tensión estructural en tiempo real. El sistema de redes de Bragg desarrollado y las técnicas de procesamiento han sido validados en pruebas estáticas y dinámicas, mostrando las capacidades de esta poderosa tecnología. La evaluación incluye estimación de la forma de deflexión, conteo de ciclos de deformación, alarmas de deformación audibles y visuales, control de alerones basado en niveles de deformación y detección de respuesta de resonancia estructural.

En el segundo caso de uso, se ha propuesto un nuevo método para la integración de sensores Bragg en componentes metálicos, que permite crear estructuras con sensores integrados en las regiones de interés. Este procedimiento es factible gracias al uso de tecnologías de fabricación aditiva. Esta metodología es de especial interés para soportes de naves espaciales y otras aplicaciones estructurales.

Caracterización electromagnética de redes miméticas multispectrales hasta 110 GHz (DESEi+d 2022: 41)

Borja Plaza Gallardo, David Ramos Somolinos, José Cidrás Estévez y David Poyatos Martínez

En el entorno militar existe la necesidad de reducir al máximo la visibilidad de diferentes sistemas y equipamientos. El requisito más antiguo referente a esta necesidad es que el objeto se confunda con el entorno en el que se encuentra. Esta reducción de la visibilidad se puede conseguir mediante distintas técnicas que dificulten la detección (reducción de emisiones infrarrojas, atenuación del ruido o reducción de firma radar, por ejemplo). Para ello es necesario el tratamiento de forma o de acabado superficial sobre el material, o una combinación de ambos (pinturas, revestimientos, paneles, mantas o redes).

En estos elementos nombrados, la atenuación de potencia, junto con la reflexión de la señal incidente, son los factores que dan lugar a un comportamiento en servicio adecuado. La transmisión total del sistema a las ondas radar debe ser inferior al 50 %, actuando así como una capa o medio con pérdidas (*lossy layer*) entre el blanco y el radar.

Elementos como las redes miméticas multispectrales (*camouflage nettings*) son capaces de reducir la visibilidad de los elementos que resguardan en los rangos ultravioleta (UV), visible (VIS), infrarrojo (IR) y radar. Estas suelen estar fabricadas a partir de fibras conductoras (metálicas o no metálicas) con una distribución uniforme y una tela base, ya que el tejido de camuflaje debe ser flexible para poder cubrir un objeto, con o sin un marco de apoyo. Además, debe ser lo suficientemente ligero para que pueda ser manejado fácilmente por una o varias personas y colocado en el lugar deseado.

En este contexto, el presente trabajo se centra en la caracterización electromagnética de redes miméticas para protección de sistemas y equipos militares a distintas frecuencias (desde 2,6 GHz hasta 110 GHz) y la descripción de los sistemas de medida disponibles en el Laboratorio de Electromagnetismo Computacional y Aplicado.

BLANCOK: sistema de blancos basado en láser con reconocimiento automático de impactos (DESEi+d 2022: 44)

Octavio Nieto-Taladriz García, Eduardo Robles Esteban, Álvaro Araujo Pinto y Marcelo de Carlos Goñi

El proyecto de I+D+i ha sido realizado por la empresa Teldat S.A., el grupo de investigación de la Universidad Politécnica de Madrid «B105 Electronic Systems Lab» y la Brigada Guadarrama XII, bajo el paraguas del CDTI como tecnología de doble uso y utilizando metodologías *Agile*.

El objetivo del proyecto ha sido el desarrollo de un sistema de blancos para proyectiles basados en iluminadores láser y reconocimiento automático de los impactos sobre las imágenes proyectadas. Asimismo, se ha realizado un conjunto de interfaces de usuario para que definir ejercicios tanto estáticos como dinámicos y un sistema de puntuación y seguimiento de las capacidades de los tiradores según han definido y evaluado los instructores de tiro.

Este sistema permite mejorar el entrenamiento del personal que maneja armamento, tanto individual como colectivo en las unidades:

- Ahorrando tiempo en el entrenamiento y personalizando el aprendizaje.
- Reduciendo el coste en dianas.
- Minimizando la huella ecológica.
- Incrementando el realismo de los escenarios y dotando a estos de dinamismo.
- Es una tecnología de doble uso militar/civil, por lo que el coste es competitivo.

El sistema genera figuras dinámicamente mediante un cañón laser sobre el área de proyección, que puede ser tanto un elemento tipo *foam* que se utiliza actualmente como base o bien directamente sobre el espaldón, si tomamos como ejemplo la fusilería. Una cámara y la unidad de procesamiento sirven para detectar los impactos en tiempo real, pudiendo mostrarse en un *tablet* o teléfono inteligente.

El sistema está compuesto por subsistemas:

- Representación: generación de figuras con el láser, que pueden cambiar en tiempo real y ajustarse a las condiciones del escenario y condiciones atmosféricas.
- Reconocimiento: detección de diferentes tipos de impactos en variedad de escenarios.
- Visualización y control: presentación en tiempo real de estadísticas definidas por el instructor.

Redes neuronales aplicadas a narices electrónicas para instalaciones fijas: arcos de seguridad (DESEi+d 2022: 107)

Marta Rodríguez González y Raúl López Sánchez

Las narices electrónicas, *e-noses*, son sistemas olfativos artificiales que han demostrado eficiencia en la identificación de sustancias químicas mediante el análisis de sus vapores. El INTA lleva años perfeccionando su tecnología en ese campo mediante sucesivas mejoras, principalmente, de tipo *hardware*, pero siempre con un número contenido de sensores (3 o inferior) para lograr diseños portátiles. Algunos de los avances más significativos se han presentado en ediciones anteriores del DESEi+d, con especial atención a la detección de explosivos.

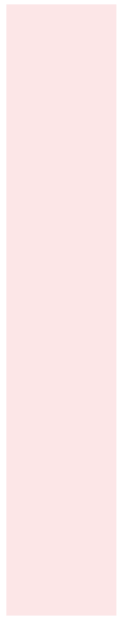
A la hora de afrontar desarrollos más ambiciosos, como arcos de seguridad en pasos controlados, algunas de las limitaciones de los sistemas portátiles desaparecen, en particular, el número máximo de sensores y la capacidad limitada de cálculo de los microprocesadores. Por el contrario, este nuevo planteamiento acentúa otros inconvenientes, entre ellos y del que se trata a continuación, el adecuado manejo del *big data* generado por la *e-nose*. En base a nuestra experiencia, se considera que la inteligencia artificial, en concreto las redes neuronales, constituyen una familia de herramientas muy convenientes para esta finalidad.

El presente manuscrito analiza las diferentes alternativas que ofrece la inteligencia artificial para su implantación en una nariz electrónica con, al menos, 10 sensores y frecuencia de adquisición superior a 1 Hz, buscando el mayor rendimiento y eficiencia en la identificación.

DESE



2.2. Radar





Identificación de emisiones radar mediante técnicas de inteligencia artificial (DESEi+d 2022: 83)

José M. Núñez-Ortuño y Fernando González de Canales Martínez

La superioridad del espectro solo es posible si se tiene la capacidad de detectar y analizar las emisiones de las distintas plataformas o unidades de manera que se puedan caracterizar e identificar correctamente. Dicha superioridad permite construir una imagen precisa de la conciencia situacional lo que garantizará una mayor probabilidad de éxito en la misión.

En el entorno electromagnético actual, en el que los parámetros de la señal emitida cambian a menudo, es necesaria la aplicación de métodos innovadores de identificación y clasificación capaces de aprender y adaptarse al entorno de forma que evolucionen en función del mismo. Este objetivo puede conseguirse mediante la introducción de la inteligencia artificial en los sistemas de guerra electrónica de los buques ya que pueden mejorar las prestaciones que los equipos actuales en términos de precisión y velocidad en la clasificación.

En este trabajo se plantea la posibilidad de identificar y clasificar emisiones electromagnéticas en el espectro radar mediante técnicas de inteligencia artificial mediante un sistema de bajo coste.

En el trabajo se implementa un sistema de recepción de señal para radares marinos en banda X y unos algoritmos para la obtención de la paramétrica de las emisiones. La adquisición de señal se ha realizado para los radares de diferentes buques como las lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar (ENM), patrulleras de la Guardia Civil y Aduanas, A-41 Intermares, BS-14 María Pita y otras embarcaciones en diversos modos de transmisión recopilando sus características en una base de datos.

Una vez analizados y comprobado los valores obtenidos, se han determinado las características más relevantes en el proceso de clasificación, y se ha entrenado una red neuronal con los parámetros almacenados, obteniéndose conclusiones sobre la capacidad de identificación y clasificación de las señales radar de las distintas embarcaciones.

Desarrollo de un sistema para el análisis de configuraciones MIMO para la mejora de las prestaciones de radares pasivos con aplicación al ámbito marítimo (MIRAPAMAR) (DESEi+d 2022: 84)

José M. Núñez-Ortuño, José P. González-Coma, María-Pilar Jarabo-Amores, David Mata-Moya, Nerea del Rey-Maestre y Luis Castedo

Los radares de entrada y salida múltiple (MIMO) son un desarrollo reciente en el mundo del radar inspirado en el éxito precedente de las técnicas MIMO en comunicaciones. En el contexto del radar pasivo, la aplicación de tecnologías MIMO puede mejorar la capacidad de detección y la cobertura, empleando múltiples iluminadores y receptores lo que se conoce como radar pasivo MIMO. Esta técnica ha demostrado ser superior a los radares pasivos convencionales basados en procesado en *array*, ofreciendo claras mejoras respecto a estos últimos: capacidad de detección (mejora resolución angular, la precisión, y reduce velocidad mínima), permite la aplicación directa de algoritmos adaptativos, explotar la diversidad espacial, y proporciona un alto grado de flexibilidad en el diseño del diagrama de radiación.

El demostrador desarrollado en las instalaciones del Centro Universitario de la Defensa (CUD), en la Escuela Naval Militar de Marín, permite la evaluación y análisis de distintas técnicas MIMO que pueden emplearse en un sistema de radar pasivo en el ámbito marítimo y/o naval.

En primer lugar, se ha realizado un estudio teórico en el que se plantean distintas alternativas de procesado MIMO, identificando similitudes con los sistemas de comunicaciones basados en esta tecnología. Posteriormente, se ha desarrollado el demostrador basado en equipos de radio definida por *software* (SDR), en el que se pueden evaluar dichos esquemas en un escenario de blancos marítimos e iluminadores de televisión digital terrestre (DVB-T).

El desarrollo ha sido posible gracias a la colaboración estrecha con el grupo «Acoustic and Electromagnetic Smart Sensor networks and Signal processing (AESSS)» de la Universidad de Alcalá de Henares (UAH), y el grupo de «Tecnología Electrónica y Comunicaciones (GTEC)» de la Universidad da Coruña (UDC).

Diseño de la cadena de procesamiento para el demostrador de un radar de apertura sintética compacto para RPAS clase I (DESEi+d 2022: 86)

Mateo Burgos García y Guillermo Pérez de Arenaza Pozo

En las últimas décadas, el interés por los vehículos aéreos no tripulados ha aumentado debido a que pueden ser pilotados por control remoto. Gracias a esta característica, su uso se ha generalizado en tareas militares y civiles como la vigilancia, la agricultura, la inteligencia, los servicios forestales... En la actualidad, los drones incorporan sensores electro-ópticos para su funcionamiento, pero estos sistemas tienen serias limitaciones ya que solo pueden operar si hay suficiente visibilidad, además se ven afectados por las condiciones meteorológicas. Por el contrario, los radares utilizan pulsos electromagnéticos y por tanto su actividad no se ve afectada drásticamente por estos factores.

El objetivo del proyecto es el diseño, fabricación y evaluación en campo de un demostrador tecnológico de un sensor radar SAR (radar de apertura sintética) compacto que permita la obtención de imágenes SAR desde un RPAS de clase I en operación diurna y nocturna o en presencia de niebla.

Para la formación de imagen se emplea el RMA (Range Migration Algorithm). Además, se han desarrollado dos algoritmos de corrección de movimiento para asegurar el funcionamiento en condiciones adversas. Por último, el procesamiento se ha dividido en dos etapas conectadas con un enlace radio; la primera a bordo de la aeronave y cuyo objetivo es minimizar la información que se manda por el enlace, y la segunda en el equipo de tierra que realiza el resto del procesamiento y ofrece imágenes en tiempo real.

El empleo de radares en este tipo de plataformas aéreas es una ventaja competitiva y estratégica para la industria y la defensa en España. Ofrece grandes ventajas, entre las que destacan: operatividad nocturna y en condiciones de baja visibilidad, mejora de la nitidez, alcance mucho mayor, selección del tipo de material a observar y reducción de los costes de producción y de vuelo.

Detección de pulsos de radiofrecuencias mediante técnicas de análisis estadístico de orden superior. Aplicación a señales inmersas en ambientes con alta densidad de ruido (DESEi+d 2022: 122)

José Guerra Carmona, Miguel Enrique Iglesias Martínez, Pedro Carrasco Peña y Pedro Fernández de Córdoba Castellá

Las implicaciones de la acción de señales contaminantes que distorsionen las señales a procesar pueden ser de vital importancia. Entre estas acciones contaminantes podemos citar: lectura falsa de la información que devuelven los sensores, activación de falsas alarmas, incomunicación entre sistemas de comunicación, entre otros. Muchas de estas señales ruidosas son, desde el punto de vista práctico, imposibles de eliminar, aunque sí es posible establecer métodos y técnicas que tiendan a disminuir el efecto de las mismas sobre las señales útiles.

La presente investigación es resultado del desarrollo de una propuesta teórica que combina procesos estadísticos clásicos y de orden superior para la recuperación de amplitud y fase en una señal distorsionada en situaciones reales. El contenido se centra en el tratamiento del ruido utilizando procesamiento basado en estimaciones no paramétricas de características estadísticas como cumulantes, momentos y espectros de orden superior, exponiendo varios resultados desde el punto de vista práctico aplicados a señales con alta densidad de ruido.

DESE



2.3. Sensores y sistemas optrónicos



Red de sensores inalámbricos para la detección de gas sarín usando el efecto de resonancia plasmónica de superficie, fibras ópticas y nanotecnología (DESEi+d 2022: 71)

Jesús Salvador Velázquez González, Ignacio Llamas-Garro, Javier Marcelino Arias Abuín y María Esther Gómez Caballero

En este trabajo se muestra el diseño, simulación y fabricación de distintos dispositivos ópticos basados en el efecto de resonancia plasmónica de superficies para la detección de vapor de dimetilmetilfosfonato (DMMP), emulante de gas sarín, los cuales están integrados en una red inalámbrica para monitorear un entorno. Dentro de estos dispositivos ópticos se encuentran guías de ondas planas (configuraciones Otto y Kretschmann-Rather) y guías de ondas cilíndricas (estructuras hetero-núcleo de fibras ópticas), las cuales están recubiertas por una película delgada de metal (Au, Pd o ZnO) que actúa como elemento de detección. Así mismo, se presentará el prototipo de nodo sensor, incluyendo resultados de fabricación, empaquetado y experimento.

Técnicas de *Deep Learning* basadas en medidas inerciales para la mejora de las capacidades de teledetección en sensores electro-ópticos embarcados (DESEi+d 2022: 87)

Alba Delgado Fernández, Rodrigo Blázquez García, Ángel Cerrada Ramírez y Mateo Burgos García

En los últimos años, el uso de plataformas aéreas no tripuladas (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) ha cobrado especial importancia en aplicaciones de defensa y seguridad. Para ello, los UAV cuentan con una gran diversidad de sensores embarcados, entre los que destacan los sensores electro-ópticos, debido a su tamaño y peso reducidos y a que permiten detectar e identificar objetos a distancia.

En el ámbito de la teledetección, es primordial conseguir imágenes suficientemente nítidas para que los algoritmos de detección funcionen adecuadamente localizando los blancos con una probabilidad de falsa alarma reducida. Sin embargo, la calidad de las imágenes adquiridas con sensores ópticos embarcados en plataformas móviles se ve degradada por el llamado efecto de emborronado o *blurring* producido por el movimiento y vibración de la plataforma. A pesar del empleo de sistemas de estabilización, que reducen parte de las degradaciones, existe generalmente un emborronado residual que limita el tamaño mínimo detectable. Por ello, este trabajo analiza técnicas de *Deep Learning* para compensar y aminorar el efecto de emborronado y conseguir mejorar las capacidades operativas de teledetección de los sistemas electro-ópticos embarcados.

Se ha propuesto utilizar las medidas de los sensores IMU (Inertial Measurement Unit), extensamente empleados en UAV, para obtener una estimación de la función de transferencia (Point Spread Function) asociada al movimiento y vibración de la cámara que da lugar al emborronado espacialmente variable. Dicha estimación y la imagen original emborronada se utilizan como entradas de una red neuronal convolucional que, tras su entrenamiento con imágenes emborronadas simuladas, permite obtener una imagen más nítida que la original.

Los resultados obtenidos muestran el gran potencial de las técnicas de *Deep Learning* para llevar a cabo el desemborronado de las imágenes adquiridas mediante cámaras embarcadas en plataformas aéreas, mejorando la calidad de las imágenes y las capacidades de teledetección.

Desarrollo de dos demostradores tecnológicos para nuevos sistemas de visión nocturna de alto rendimiento utilizando el concepto SWaP (DESEi+d 2022: 98)

Sergio Lorenzo Losada, Rafael Espinosa Gracia, Alfonso López Laborda y Miguel Muñoz Gámez

Dos nuevos demostradores de visión nocturna basados en tecnología IIT y LWIR de última generación han sido desarrollados siguiendo el concepto SWaP.

En el modelo IIT se ha reducido su tamaño y peso respecto a modelos existentes, incrementándose el tiempo de funcionamiento y rango de temperatura operacional.

La integración de la nueva generación de tubos intensificadores, que operan en un rango espectral de 400 nm-1000 nm frente a 500 nm-900 nm de modelos previos, ha requerido de un nuevo diseño para conseguir el máximo rendimiento.

Se ha diseñado un nuevo objetivo, para obtener la mejor respuesta espectral de este tipo de IIT.

Se ha reducido el tamaño del objetivo, respecto a modelos existentes, manteniendo resolución y contraste. El diseño permite la absorción de mayor cantidad de luz residual, mejorando el SNR del sistema.

También se ha diseñado un nuevo sistema de visión térmica LWIR atermalizado.

Los equipos de visión LWIR son propensos a desenfocarse si son sometidos a cambios de temperatura, principalmente en sistemas con enfoque fijo.

La literatura actual propone solucionar este problema con el uso de materiales calcógenos, los cuales pueden incrementar el precio del equipo. En este estudio, se ha diseñado un objetivo que, basándose en materiales más comunes como el germanio y el seleniuro de cinc, mejoran la atermalización del sistema, sin incrementar el coste.

Se ha fabricado un objetivo LWIR que permite mantener un MTF superior al 30 % con una resolución de 30 pl/mm en un rango de temperaturas de -31°C +51°C. El objetivo forma parte de un nuevo sistema de visión térmica.

Es escalable de F#1.25 hasta F#0.9, permitiendo que, con base a un mismo diseño, se pueda obtener un mejor rendimiento en términos de MTF, NETD y MRTD.

Ambos equipos se han evaluado en laboratorio, demostrando la viabilidad técnica de los conceptos tecnológicos aplicados.

DESE



2.4. Sensores acústicos





Plataforma acústica de bajo coste basada en *arrays* de micrófonos MEMS para la detección y localización de blancos (DESEi+d 2022: 193)

Alberto Izquierdo, Juan José Villacorta, Lara del Val y Pablo Alloza

Este trabajo presenta una arquitectura de adquisición y procesado de señales acústicas que, utilizando un *array* de micrófonos MEMS y sistemas mixtos de procesado con procesadores multicore y FPGA, obtiene imágenes acústicas de alta resolución. El sistema permite, mediante técnicas de *beamforming*, conocer la posición espacial de fuentes acústicas (trabajando en modo pasivo, es decir, en modo escucha) y la posición de los objetos en un espacio de vigilancia (trabajando en modo activo, es decir, en modo radar acústico). Las aplicaciones de este sistema son múltiples, desde la obtención de mapas de ruido, hasta la localización de objetos. Adicionalmente, el trabajo incluye un conjunto de casos de estudio para las principales aplicaciones de uso para ambos modos de funcionamiento.

DESE



2.5. Procesamiento de datos de sensores



Procedimientos de planeamiento, procesado e incorporación de datos obtenidos mediante equipos USV y RPAS a la cadena de producción del Instituto Hidrográfico de la Marina (DESEi+d 2022: 29)

Luis Manuel Díaz-Obregón

El Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) ha adquirido recientemente equipos autónomos, dotados de diversos sensores que obtendrán datos geográficos. Este trabajo consiste en tratar de exponer cual debe ser el procedimiento para usar estos vehículos autónomos de manera más eficiente.

Para ello, se indicará cómo deben ser cada uno de los pasos a dar desde que se reciba la orden de ejecutar un trabajo. Es decir, se indica cómo debe ser la planificación, desarrollo de los trabajos (toma de datos) y posterior procesado.

Se han adquirido datos con los nuevos sensores en zonas en las que ya existían con el objetivo de realizar una comparativa, y en otros casos se han realizado levantamientos, comprobando la calidad de los datos.

Mediante un equipo pilotado de manera remota (RPAS) se obtendrán datos LIDAR totalmente nuevos para el IHM, con lo que se tratará de realizar MDT que ayuden a la delimitación de la línea de costa española. Por otro lado, también se podrá instalar en el RPAS una cámara fotogramétrica, que permitirá reducir la dependencia que hasta la fecha se tiene de otros organismos de la administración pública para la delimitación de la citada línea.

Mediante un vehículo de superficie no tripulado (USV) se obtendrán datos batimétricos en zonas donde no pueden acceder las actuales embarcaciones de las que dispone el IHM.

Finalmente, se obtendrán unas conclusiones/propuestas que permitan mejorar los vehículos actuales y que también sirvan para una futura compra por parte del IHM de otros equipos.

DESE



2.6. Contramedidas ópticas





Señuelo activo prescindible basado en memoria fotónica de RF para mejora de supervivencia en helicópteros (DESEi+d 2022: 18)

Francisco Javier Cruz Hernández

El señuelo se basa en el empleo de memorias fotónicas de RF (PRFM) en lugar de la convencional memoria de radiofrecuencia digital (DRFM) para engañar a los misiles guiados por radar y a los radares de control de tiro que estén iluminando/blocando la aeronave.

Para ello, genera diversos tipos de técnicas de contramedidas (ECM) tales como RGPO, VGPO, Cross-Eye, etc., directamente en el dominio fotónico. Las técnicas ECM se activan en función de la librería de amenazas contenida en la propia PRFM.

El sistema constituye una alternativa a los señuelos pasivos contra radar, chaff, y también a los sistemas de ataque electrónico basados en DRFM.

La PRFM se aloja en un chasis cuyas dimensiones mecánicas se corresponden con la de un cartucho de bengala estándar 1”x1”x8”. Por lo tanto, puede integrarse fácilmente en el dispensador de bengalas estándar de la suite de autodefensa de la plataforma huésped.

Una vez lanzado de la aeronave de forma similar al lanzamiento de chaff / bengalas, se activa, desplegando sus aletas estabilizadoras. Cuando se dispensa el señuelo, este comienza a buscar amenazas mediante sus antenas, recopilando los pulsos de radar entrantes y comparándolos con su librería de amenazas.

Al encontrar una coincidencia, aplica la generación de la correspondiente técnica ECM en el dominio fotónico para simular un *objetivo falso* con tanta fidelidad que el misil atacante guiado por radar no puede detectar el engaño y distinguirlo de la aeronave real, logrando su seducción, de forma que la aeronave pueda alejarse del señuelo mientras este engaña al radar de la cabeza buscadora (*seeker*) del misil atacante.

Las PRFM permiten implementar técnicas ECM capaces de contramedir radares dotados de contra-contramedidas (ECCM) muy avanzadas. Por tanto, los sistemas de autodefensa basados en RF fotónica incrementan la capacidad de supervivencia de las aeronaves.

Sistema electro-óptico de detección automática de amenazas contracarro (DESEi+d 2022: 123)

Javier Álvarez Ríos, José Díaz Caro, Gabriel Cano García, Natalia Ramírez Cano, Francisco Nombela Blanco, Ingrid Barba Frades, Oscar Lozano Rosales, Javier De Marcos López, Iván Sal Nogueira y Carlos de la Peña Nuñez

La protección y supervivencia de un carro de combate depende de impedir ser detectado y posteriormente ser alcanzado. Sistemas láser como telémetros, designadores o iluminadores son dispositivos empleados en la adquisición por parte de la fuerza enemiga, y las granadas propulsadas, cohetes, misiles y otros tipos de proyectiles balísticos se emplean para alcanzar el carro durante el ciclo de enfrentamiento.

Todos estos eventos sucesivos transcurridos en un corto periodo, del orden de segundos, requieren de la detección automática a largas distancias, la clasificación y declaración de la amenaza y de su localización con una alta probabilidad y baja tasa de falsas alarmas. El proyecto SEDIM (sistema electro-óptico de detección multibanda) es una propuesta de desarrollo de un demostrador con subsistemas de detección y alerta de iluminación láser y amenazas propulsadas como granadas o misiles. Este sistema sería el activador del sistema de protección activa que interceptaría la amenaza.

Esta comunicación presenta una revisión de las principales amenazas atendiendo a sus características físicas, para luego introducir el tipo de tecnologías electro-ópticas de detección y localización. Se desarrollan algunos modelos y simulaciones que representan los parámetros extrínsecos e intrínsecos de los subsistemas como la caracterización radiométrica, angular y temporal de la secuencia de eventos desde el inicio de la amenaza hasta la declaración de alerta. También se presentan pruebas preliminares y sus resultados obtenidos. Por último, se desarrollan las conclusiones y presentación de trabajos futuros.

DESE

**Área 3:
Tecnologías
comunes a bases
e instalaciones,
plataformas y
combatiente**

DESE



3.1. Ciclo de vida





Análisis del fallo de los dos soportes del tren de aterrizaje de una aeronave (DESEi+d 2022: 29)

María Pilar Valles, Ana Pastor, María García-Martínez y Beatriz González-Caballero

El análisis de fallos de componentes de aeronaves es crítico en una industria donde la seguridad es fundamental. El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) presta apoyo técnico en análisis de fallos e investigación de accidentes a las comisiones de investigación de accidentes de Aviación Civil y Militar de España con el fin de averiguar la causa que los produce y prevenir futuros incidentes. Este artículo presenta el estudio de un incidente en el que estuvo involucrada una aeronave. Durante el despegue, se fracturaron los dos soportes del tren de aterrizaje principal derecho, lo que obligó a la aeronave a aterrizar.

Se realizó la caracterización química, microestructural y mecánica del material. Se determinó que el soporte delantero correspondía a una aleación de aluminio ASTM A356.0 T6, y el trasero a una aleación de aluminio ASTM A535.0. Aunque ambas cumplían con las especificaciones del fabricante, la presencia de una elevada porosidad junto a las cavidades de contracción pudo ocasionar una disminución de la resistencia del material.

La observación visual llevada a cabo en los dos soportes, indicó que las fracturas se habían producido en su parte central, en la zona de conexión con el *trunnion*, que es donde presentaba una menor sección. La aplicación de cargas fue en la dirección del eje del tren de aterrizaje, provocando una fuerza de flexión en la pieza.

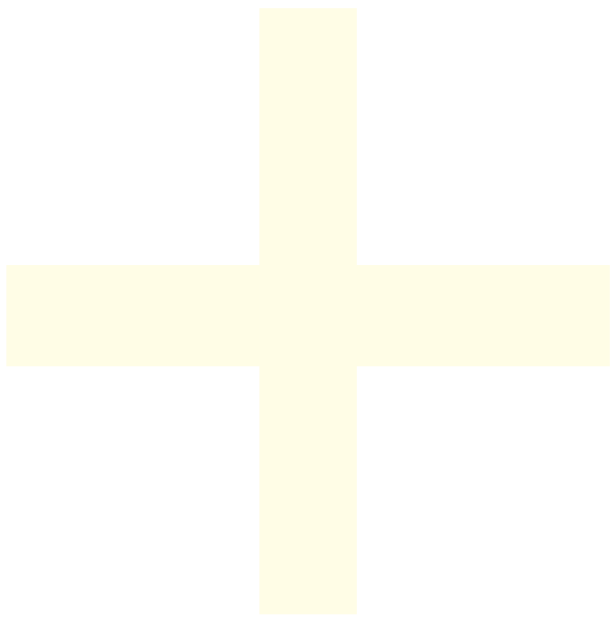
Los estudios fractográficos y metalográficos se realizaron mediante microscopía óptica y electrónica de barrido. Los caracteres fractográficos mostraron que el soporte delantero se fracturó instantáneamente por sobrecarga estática tras uno o varios intentos bruscos de aterrizaje, dando lugar a la rotura del soporte trasero, siendo por tanto este, un fallo secundario.

Se concluyó que la fractura en los dos soportes se produjo por sobrecarga estática, con una aplicación de carga a muy alta velocidad, prácticamente instantánea.

DESSE



3.2. Materiales





Incertidumbre de medición en la caracterización tribológica en un contacto duro-blando (DESEi+d 2022: I 33)

Francisco Javier Pascual Aranzana y José Antonio Albáñez García

En el sector de defensa, la caracterización funcional del contacto entre dos o más cuerpos y la determinación de las propiedades tribológicas del par de contacto es fundamental para habilitar el diseño seguro, eficiente y económicamente sostenible del armamento, equipos y vehículos de la fuerza. Lamentablemente, se trata de una tarea compleja condicionada a un gran número de factores, intrínsecos a la propia medición o exteriores a ella, que influyen en el proceso de caracterización.

El objetivo principal del presente trabajo es la identificación y análisis de distintas fuentes de error asociadas a la determinación experimental de las tres propiedades tribológicas fundamentales de un contacto duro-blando, a saber, coeficiente de fricción, desgaste volumétrico y factor específico de desgaste, mediante la generación de una huella de desgaste en el material blando haciendo uso de un dispositivo específico denominado tribómetro, el cual permite registrar el coeficiente de fricción y la posterior inspección de la zona desgastada mediante un perfilómetro óptico, determinando el desgaste volumétrico. La combinación de datos obtenidos mediante ambos instrumentos permite determinar el factor específico de desgaste.

Tras la identificación exhaustiva de las diferentes fuentes de error asociadas a los dos procesos de medición analizados (generación de la huella y adquisición óptica) los autores proponen mediante la utilización de herramientas básicas de calidad su clasificación en función de su origen, distinguiendo si proceden de: fuentes ambientales, operador, métodos, mensurando o del propio instrumento. Consecuentemente, se identifican las oportunidades de mejora en el proceso de medición y se proponen las modificaciones oportunas en los equipos.

El poder determinar de forma precisa las citadas propiedades tribológica nos permitirá desarrollar sistemas mecánicos con movimiento relativo más precisos y posibilitará su incorporación a nuevos diseños y desarrollos en el ámbito de las FAS.

Tratamiento fotocatalítico de aguas mediante estructuras obtenidas por fabricación aditiva (DESEi+d 2022: 179)

Jorge Feijoo, Jesús del Val, Rosa Devesa, Andrés Suarez y Carlos Casqueiro

En la actualidad, la presencia de microcontaminantes orgánicos liberados al medio ambiente por la acción humana, como puede ser el consumo de medicamentos, productos de limpieza o cosméticos, se ha mostrado como una gran problemática por su alta concentración en estaciones de tratamiento de aguas. El tratamiento de estos microcontaminantes se considera de suma importancia debido al carácter recalcitrante de los mismos, su capacidad de bioacumulación, su potencial toxicidad, así como la alteración del sistema endocrino del ser humano. Sin embargo, los sistemas de depuración actuales muestran una muy baja tasa de eficacia a la hora de eliminar este tipo de microcontaminantes orgánicos ya que no han sido diseñados de forma específica para esa tarea. El desarrollo de tecnologías que permitan reducir de modo más eficiente los niveles de contaminación se encuadra dentro de las líneas de investigación estratégicas de gestión del agua marcadas por la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) del Ministerio de Defensa. En el presente trabajo se estudia el uso de estructuras tridimensionales obtenidas por fabricación aditiva, que actúan como andamiajes específicos para la inmovilización de fotocatalizadores, basados en dióxido de titanio, en soportes físicos de cara a la eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales. El material funcionalizado se ha fabricado mediante impresión 3D, obteniéndose una estructura híbrida, altamente porosa, con una elevada área superficial y con gran capacidad de regeneración. Las muestras obtenidas han sido caracterizadas de forma óptica, así como físico-química estudiando su rendimiento fotocatalítico.

Mejora de las propiedades térmicas de las resinas epoxi usadas en cerramientos mediante el uso de materiales de cambio de fase para aplicaciones militares (DESEi+d 2022: 185)

Miguel Ángel Álvarez Feijoo, Elena Arce, Guillermo Lareo Calviño, Jorge Feijoo Conde, Arturo González Gil y Francisco Lamas López

El uso de composites está muy extendido en múltiples campos, también en el sector naval, como recubrimientos por buenas propiedades anticorrosión, reducción de peso, buena resistencia y un bajo mantenimiento. La conductividad térmica es aceptable, pero se refuerza sensiblemente con la incorporación de materiales de cambio de fase (PCM) para almacenar energía y partículas metálicas para favorecer la conducción del calor. Como recubrimientos de recintos o equipos, la combinación de estos materiales permite reducir la oscilación de la temperatura en el interior.

Este trabajo se centra en el estudio de propiedades mecánicas y térmicas de nuevos composites de resina epoxi con materiales de cambio de fase y carga metálica. Las partículas metálicas se añaden con el objetivo tanto de mejorar las propiedades térmicas como mecánicas de la matriz. De los resultados se desprende que la entalpía del compuesto resina-PCM orgánico varía linealmente en función del contenido de PCM en la muestra. Para que el contenido de este material en las muestras llegase hasta un 40 % fue necesario el uso de agentes espesantes. El uso de partículas metálicas mejora la conductividad térmica de los composites mientras se mantiene un bajo porcentaje. Sin embargo, a mayores porcentajes la entalpía tiende a reducirse.

Se puede concluir que estos composites tienen un gran potencial debido al rendimiento térmico y a su reducido coste, ya que no es necesario proceso alguno de encapsulación del PCM. Además, esta combinación permite generar recubrimientos anticorrosivos a la vez que posibilita estabilizar parte de la oscilación térmica que puede haber en un recinto o equipo.

Procesos de micromanufactura aditiva basados en transferencia inducida de material con láser (DESEi+d 2022: 217)

Miguel Morales Furió, David Muñoz-Martín y Carlos Molpeceres Álvarez

La fabricación aditiva (*additive manufacturing*, AM) de metales todavía afronta numerosos retos. Además del elevado coste de los sistemas de AM de metales y de los precursores en polvo, la propia naturaleza del proceso de impresión por capas afecta a las propiedades mecánicas de las piezas impresas (porosidad entre capas sucesivas o la anisotropía intrínseca al proceso de fabricación).

Estos problemas son más importantes en el caso de microfabricación dado que la fusión selectiva con láser (Selective Laser Melting, SLM), muy adecuada para el procesado de piezas macroscópicas, no es tan adecuada para fabricar piezas en la escala micrométrica. El mínimo tamaño que se puede fabricar con SLM es del orden de decenas de micras, limitado por el tamaño y por la elevada conductividad térmica de las partículas metálicas. La microfabricación de componentes metálicos demanda por tanto el desarrollo de nuevos procesos capaces de superar estas limitaciones.

En este trabajo se presenta la técnica de transferencia inducida por láser (Laser-Induced Forward Transfer – LIFT) una técnica de escritura directa sin contacto que permite la transferencia de volúmenes pequeños de material desde un sustrato donante, en el que se enfoca un láser pulsado, hasta un sustrato aceptor con elevada resolución espacial, de manera que se puedan reproducir geometrías complejas sin la necesidad de usar moldes o máscaras. La técnica LIFT se asemeja a la impresión por chorro de tinta (*inkjet*), en el sentido de permitir transferir gotas de material en posiciones predefinidas. Sin embargo, la ausencia de una boquilla le permite imprimir desde sólidos hasta líquidos, siendo una técnica muy versátil. Los sistemas LIFT tienen un tamaño que permite cierto grado de portabilidad.

Para finalizar se presentarán algunas soluciones de interés para aplicación en diferentes ámbitos de defensa.

Comportamiento a fatiga y estudio microestructural de una superaleación para discos de turbina (DESEi+d 2022: 237)

Beatriz González Caballero, María Pilar Valles González, María García-Martínez y Ana Pastor Muro

La superaleación austenítica A286, con base de hierro y níquel, tiene diversas aplicaciones a temperaturas moderadamente altas, tales como palas y discos de turbina, bastidores, carcasas, piezas del post-combustor y elementos de fijación de motores a reacción y turbinas de gas, debido a su alta resistencia y buenas propiedades mecánicas, tanto en condiciones ambientales como de servicio hasta 700°C. También presenta resistencia a la corrosión como resultado de la adición de cromo como elemento de aleación.

Este trabajo surgió a raíz de un fallo recurrente en los discos de la turbina de un motor a reacción. Tras analizar varias piezas dañadas, se decidió realizar un estudio completo del material, incluyendo análisis fractográfico y sus propiedades mecánicas, con el objetivo de prevenir futuros fallos de las piezas. Como aleación típica del tipo de endurecimiento por precipitación, su tratamiento térmico consiste en un recocido de solubilización y un enfriamiento rápido seguido de un envejecimiento a 730°C, que forma los precipitados γ' $[\text{Ni}_3(\text{Al},\text{Ti})]$ en una matriz austenítica fcc. Un sobrecalentamiento, debido a un periodo de envejecimiento más largo o a una mayor exposición en servicio, podría dar lugar al fallo de la pieza, ya que la aleación se vuelve inestable: se produce una transformación estable de γ' a la fase η $[\text{Ni}_3\text{Ti}]$ y estos nuevos precipitados hcp producen la degradación de las propiedades mecánicas del material.

Muestras de A286 fueron tratadas térmicamente y sometidas a ensayos mecánicos. La evaluación de la microestructura y el comportamiento a fractura se caracterizaron mediante microscopía. Conociendo la condición de los discos después de servicio, mediante ensayos no destructivos y metalografía, seguido de un tratamiento térmico de rejuvenecimiento se podría implementar un programa de extensión de la vida útil de los componentes, especialmente cuando el coste de los repuestos es alto o no hay stock en el mercado.

Sistemas de depuración de aguas residuales para buques de la Armada: evaluación de alternativas y diseño preliminar para una F-100 (DESEi+d 2022: 24)

Ida Blanco Blázquez, Lorena González Gil y Rosa Devesa-Rey

La política ambiental de la Armada y su Sistema de Gestión Medioambiental van orientadas a lograr buques de *contaminación cero*, siendo necesario mejorar los sistemas de control de emisiones contaminantes, como son los vertidos de aguas residuales al mar. De hecho, con el fin de minimizar esta vía de contaminación, el convenio MARPOL establece en muchos casos la necesidad de que los buques dispongan de una planta de tratamiento de aguas residuales, siendo muy probable que en los próximos años las exigencias sean mayores. Sin embargo, muchos sistemas de depuración de aguas residuales a bordo de buques presentan diversas limitaciones en contraposición con las instalaciones terrestres. Por lo tanto, en este trabajo se pretende, en primer lugar, realizar un análisis comparativo de las tecnologías de depuración aplicables en buques, para posteriormente seleccionar y diseñar, de manera preliminar, una planta específica que permita mejorar la calidad de las aguas emitidas con un bajo coste. Para conseguirlo, teniendo siempre en cuenta el marco legal que regula los vertidos de aguas residuales en el mar, se ha desarrollado una metodología para evaluar múltiples sistemas de tratamiento en base a criterios ambientales, económicos, energéticos y técnicos (dimensiones y operabilidad). Además, se han analizado las plantas de depuración instaladas en buques de la Armada española, lo que ha permitido proponer la sustitución de la planta físico-química de una fragata F-100 por un biorreactor de membrana de última generación. Se ha realizado un diseño preliminar del mismo, el cual contaría con un proceso A2O (anaerobio-anóxico-aerobio) y con membranas de hoja plana sumergidas, lo que resulta en un equipo compacto y altamente eficiente en la eliminación de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y microorganismos, contribuyendo así a la preservación del medio marino por parte de las instituciones españolas.

DESE



3.3. Energía



Demostración de sistemas híbridos de potencia basados en pilas de combustible en un vehículo marino no tripulado (DESEi+d 2022: 53)

Eduardo López González, Jordi Renau Martínez, Diego Tejada Guzmán, Laura Vargas Vázquez, Víctor García Peñas, Fernando Isorna Llerena, Alberto Giménez Sancho, Manuel Martínez Córcoles, Luis Domenech Ballester, Fernando Sánchez López, Jorge Almingol Estrada, Antonio Lozano Fantoba, Manuel Montiel Argáiz y Félix Barreras Toledo

Existe una creciente demanda de vehículos no tripulados, impulsada por su capacidad para proporcionar datos de alta calidad de manera segura a un menor coste que otros métodos tradicionales de monitorización y vigilancia, así como para realizar operaciones sin riesgo para los operadores humanos. En el entorno marino, y en especial en el ámbito de la seguridad y defensa, los vehículos no tripulados de superficie (*unmanned surface vehicles*, USV) y submarinos (*unmanned underwater vehicles*, UUV), están facilitando el acceso al medioambiente marino, a la vez que reducen la necesidad de presencia humana en estas misiones. Este potencial se ve limitado en plataformas eléctricas por el almacenamiento de energía a bordo, que afecta a la duración de las misiones programadas. Los sistemas híbridos de potencia que combinan baterías y pilas de combustible alimentadas por hidrógeno pueden ofrecer valores de energía específica y densidad de energía superiores a los sistemas basados en baterías, alcanzando mayores rangos de operación a costa de una mayor complejidad en el diseño, integración y operación de los mismos. Con el fin de evaluar las prestaciones de estos sistemas híbridos en aplicaciones reales, en el proyecto «Diseño óptimo e integración de plantas de potencia con pilas de combustible de tipo PEM para vehículos eléctricos autónomos o tripulados de forma remota (DOVELAR)» se han diseñado y desarrollado diferentes configuraciones activas y pasivas de sistemas híbridos de potencia basados en pilas de combustible de polímero sólido y baterías de ion litio, con sistemas de gestión de energía y estrategias de control optimizadas, que se ha integrado y evaluado en un USV. Este trabajo describe las tareas realizadas, contemplando el diseño y fabricación de la pila de combustible, específica para este proyecto, el diseño y caracterización preliminar del sistema de potencia, y su integración y evaluación en la plataforma.

Diseño y desarrollo de un reactor de reformado de glicerina para la producción de hidrógeno (DESEi+d 2022: 176)

Rocío Maceiras, Victor Alfonsín, Jorge Feijoo, Miguel Ángel Álvarez Feijoo y Pablo Falcón

En las dos últimas décadas y en las distintas armadas existentes a nivel mundial se han desarrollado e incorporado en sus listas submarinos con propulsión independiente del aire (AIP), también denominados como submarinos con propulsión AIP (Air Independent Propulsion) o sistemas anaeróbicos. Desde el 2016, son varios los países que han desarrollado sus propios sistemas AIP para submarinos, siendo los buques propulsados por pilas de combustible una de las alternativas más empleadas en la actualidad. Los submarinos equipados con la tecnología de pila de combustible proporcionan unas condiciones de operación para tiempos mayores que los basados en la propulsión eléctrica-diésel. En este artículo se muestra el diseño y puesta a punto de un reactor de reformado de glicerina con vapor de agua para la producción de hidrógeno y su posible uso *in situ* en pilas de combustible. Todo este proceso de producción y utilización del hidrógeno estaría orientado hacia una posible implementación en submarinos con sistemas de propulsión independientes de aire. Para obtener dicho objetivo se ha construido un reformador de vapor a nivel de planta piloto, y en el cual se empleará la técnica de reformado de vapor al combustible, en este caso glicerina cruda. Para todo esto se empleó un horno cilíndrico de alta temperatura y un reactor tubular de acero diseñado para este fin. Para la puesta a punto del sistema se han estudiado los parámetros más influyentes: caudal de alimentación, ratio vapor/carbono (S/C), temperatura de operación, en base a la pureza del hidrógeno obtenido, así como la presencia de monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano en la corriente de salida. Los resultados obtenidos resultan muy prometedores, siendo necesario una posterior etapa de purificación para alcanzar unos niveles de hidrógeno superiores al 99 %.

PULSMES: sistema pulsado de alta potencia basado en SMES (DESEi+d 2022: 180)

Gustavo Sarmiento, Alexander López, Santiago Sanz, Eduardo Cano, Idurre Sáez de Ocariz, Javier Velasco e Ignacio M. Eiriz

En la actualidad, los ejércitos modernos están desarrollando sensores y sistemas de guerra electrónica de alta potencia; armas de energía dirigida, catapultas electromagnéticas o cañones de riel electromagnéticos. Algunos son parte de una revolución en la autodefensa ante las potenciales amenazas de sistemas no tripulados en formación aislada o en enjambre y ante la evolución de los sistemas aéreos activos. Y todos comparten un importante impacto en el sistema energético de la plataforma anfitriona. Tratándose de consumidores de pulsos de alta potencia, el sistema energético se enfrenta a un importante desafío. En un enfoque tradicional, una plataforma requeriría una cantidad considerable de almacenamiento de energía o un sobredimensionamiento de la generación para garantizar la operación estable; tanto estática como dinámicamente. Por lo tanto, se muestra inevitable encontrar sistemas de acumulación basados en potencia que puedan complementar los sistemas existentes de generación y acumulación.

El proyecto PULSMES intenta responder a esta necesidad con la implementación de sistemas SMES (Superconducting Magnet Energy Store), junto con una electrónica de potencia dedicada, de manera que se permita una adecuada integración del sistema en la plataforma y también una gestión energética bidireccional: entrega de potencia y recarga según demanda del pulso. Comienza en 2022, siendo su objetivo general proporcionar un sistema de almacenamiento que atienda demandas de altas potencias pulsadas y que sea integrable a medio plazo en los sistemas operativos de la FFAA de España. Para ello se llevará a cabo el desarrollo del concepto junto con su demostración experimental.

PULSMES ha sido seleccionado dentro del Programa COINCIDENTE 2021; temática «Almacenamiento de energía para altos pulsos». En este artículo se realizará un análisis de la necesidad del proyecto, descripción y su alcance; discutiendo, así mismo, los escenarios de operación base sobre los que se orientará la aplicación.

Análisis de sensores de bajo coste para la medición de iluminancia solar (DESEi+d 2022: 194)

Omar Guillán Lorenzo, Andrés Suárez García, Manuel García Fuente, David González Peña y Diego Granados-López

La eficiencia energética es una de las mayores preocupaciones hoy en día. En los últimos meses se ha observado un drástico aumento de los precios de la energía eléctrica. Las causas principales son dos: la fuerte revalorización del gas natural en los mercados internacionales y la subida de los precios del mercado de emisiones de CO₂. Por ello, es urgente reducir la dependencia de los combustibles fósiles. La reducción del consumo eléctrico ayudaría a seguir esta dirección. El uso de la iluminación natural en los edificios puede desempeñar un papel vital para disminuir la dependencia energética, por lo que es esencial medir la iluminancia solar. De esta manera, se podría cuantificar la iluminancia instantánea necesaria para lograr el confort visual y consumir solamente la energía eléctrica necesaria mediante sistemas de iluminación regulables. Los sensores de iluminancia profesionales cuestan cientos de euros. Este trabajo compara varios módulos sensores de iluminancia de bajo coste con un luxómetro profesional. Los resultados muestran una buena precisión y una exactitud regular. Además de la comparativa, este trabajo tuvo otro objetivo: automatizar el proceso de medición, agregación, almacenamiento y explotación de los datos haciendo uso de técnicas IoT. Por ello, se desarrolló una plataforma para enviar los datos de las distintas ubicaciones a un punto centralizado, donde se almacenan, analizan y muestran mediante tecnología web fácilmente accesible. El uso de estos sensores ayudaría a incrementar la eficiencia energética en las instalaciones militares mediante su integración en sistemas domóticos, mejorando sus índices de normativas ambientales y aumentando la autonomía de las bases desplegadas.

Desarrollo de tecnologías para la obtención de bioelectricidad y la contribución a un entorno sostenible (DESEi+d 2022: 204)

Alberto Cartelle Mateo, Rosa Devesa Rey, Andrés Suárez García, Miguel Ángel Álvarez Feijoo y Jorge Feijoo Conde

El trabajo que se presenta consiste en la evaluación de una celda de combustible microbiana (MFC), utilizando residuos como sustrato para transformar la energía química en energía eléctrica. El trabajo trata de contribuir a los objetivos 6 (Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos) y 7 (Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna) de la agenda ODS 2030 que tratan de acelerar las tecnologías de producción de electricidad sostenible.

Para la obtención de la bioelectricidad se utilizaron residuos de naturaleza lignocelulósica y se diseñó una MFC utilizando electrodos de cobre y zinc, registrando los datos en continuo, mediante un Arduino, durante 15 minutos. La optimización del proceso de producción de bioelectricidad se realizó mediante un diseño de experimentos Box-Behnken, que permitió deducir las condiciones experimentales más satisfactorias para maximizar la producción. Como resultado, en una serie de experimentos utilizando 100 ml de residuo como electrolito se obtuvieron hasta 500 mV, observándose una producción sostenida durante todo el tiempo del experimento. A partir de los resultados obtenidos se plantea la realización de una serie de ensayos a mayor escala y tiempo, con el objetivo de mantener la mayor diferencia de potencial y maximizar el rendimiento de la celda MFC. Los resultados permitirán avanzar en el desarrollo sostenible y tratamiento de los residuos.

ENIGMA: aprendizaje por refuerzo para la gestión de la red eléctrica (DESEi+d 2022: 207)

Jorge González Villacañas, Jose M. Moreu Gamazo y Roberto Gómez-Espinosa Martín

El proyecto ENIGMA, desarrollado con REE, busca soluciones basadas en IA para la optimización del sistema eléctrico nacional. Los sistemas de control se enfrentan a un problema cada vez más complejo debido a la acelerada evolución de las energías renovables y a la inclusión de cada vez más sistemas en la red. En particular, se debe mantener la frecuencia eléctrica en unos intervalos determinados y con unas respuestas concretas ante posibles contingencias que puedan ocurrir. Es necesario un nuevo sistema capaz de adaptarse a los cambios y de tomar decisiones optimizadas.

El *Reinforcement learning* (RL) representa uno de los paradigmas de *Machine Learning* con mayor potencial de cara a la automatización de tareas y a la toma de decisiones. En este paradigma, un agente de RL interactúa con un entorno, generalmente simulado, y recibe una recompensa en función de la calidad de sus acciones. El objetivo de este agente es maximizar esta recompensa recibida al final del episodio. Una vez entrenado, este agente se podría desplegar en el entorno real para conseguir así los objetivos deseados.

Se ha desarrollado una plataforma de entrenamiento de agentes de *Deep RL* para obtener agentes de IA capaces de controlar las plantas renovables de la red eléctrica en las islas Canarias, con el objetivo de mantener la frecuencia dentro de los márgenes deseados y de mejorar la respuesta ante las posibles contingencias. Además, se han considerado diferentes niveles de comunicación entre agentes, asimilándolo a los posibles escenarios que se puedan encontrar a futuro. Estos agentes consiguen mejorar la respuesta existente en la actualidad y plantear los nuevos escenarios más convenientes de cara a futuro.

Los resultados obtenidos demuestran el gran potencial de esta tecnología y su aplicabilidad a sistemas inteligentes de control de plataformas como las futuras plantas eléctricas navales flexibles y eficientes.

Optimización de la densidad energética de supercapacitores dieléctricos basados en NaCl mediante superficies de respuesta (DESEi+d 2022: 240)

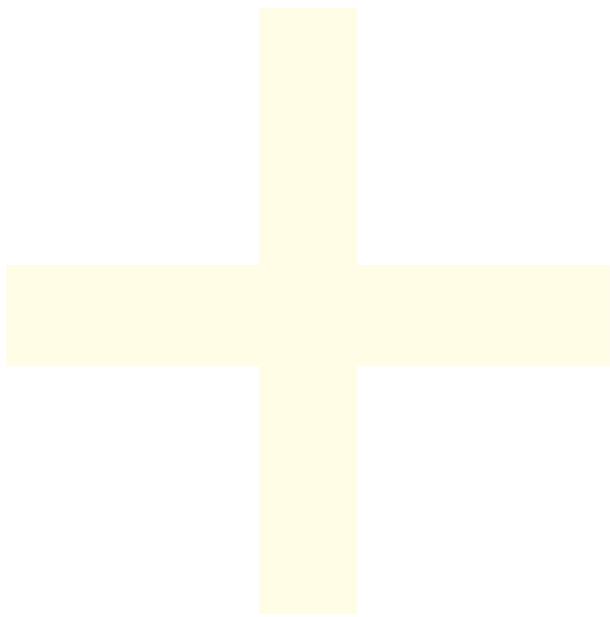
Álvaro Romero Aguilar, Pablo Falcón Oubiña, Andrés Suárez García y Jonathan Phillips

El presente trabajo propone una alternativa a las baterías convencionales de plomo ácido usadas en multitud de aplicaciones dentro de las Fuerzas Armadas. La alternativa está construida por agua, celulosa, NaCl y grafito y reciben el nombre de supercapacitores dieléctricos. Estos son materiales abundantes en el entorno, de obtención sencilla y económica, y cuyo impacto medioambiental es inferior a las tecnologías utilizadas actualmente. Para ello, se realizó un estudio experimental sobre la optimización de su densidad energética. Además, se analizó la viabilidad como alternativa a las actuales baterías, buscando igualar la eficiencia y reducir los desechos y el impacto medioambiental, manteniendo al mismo tiempo la operatividad de los equipos.

DESE



3.4. Logística





Análisis de riesgos logísticos en operaciones militares: un enfoque basado en la lógica difusa (DESEi+d 2022: 43)

Belén María Moreno Cabezalí

La OTAN define la logística militar como la ciencia de planificar y ejecutar el movimiento y mantenimiento de fuerzas. Sirve como enlace entre las fuerzas desplegadas y la base industrial que proporciona los materiales y el armamento que las fuerzas desplegadas requieren para completar su misión.

Las operaciones militares, desde combates de alta intensidad hasta misiones humanitarias, están llenas de riesgos e incertidumbre. Los riesgos logísticos se consideran un factor crítico porque de ellos puede depender el éxito de las operaciones. Esto se debe a que la logística influye en todos los niveles de planificación y ejecución de operaciones (estratégico, operativo y táctico).

Para mejorar las posibilidades de operaciones exitosas, se debe implementar una gestión de riesgos oportuna y eficaz para adoptar estrategias de respuesta adecuadas y reducir la probabilidad y el impacto de los riesgos. De lo contrario, si surge un problema y el material crítico no se puede entregar rápidamente, se pone en peligro toda la operación.

De acuerdo con la revisión de la literatura, existe poca investigación cuantitativa sobre la evaluación de riesgos en la logística militar. La mayoría de los estudios solo proporcionan una descripción cualitativa o un análisis cuantitativo de unos pocos tipos de riesgos. Para aumentar las posibilidades de éxito de las operaciones es necesario analizar más tipos de riesgos para conocerlos mejor y mejorar su gestión.

Por ello, este estudio realiza una revisión de la literatura extensa para identificar los principales riesgos logísticos y, además, presenta un modelo basado en la lógica difusa implementado en MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. Permite la evaluación de riesgos a nivel logístico de las operaciones en todas las etapas, de principio a fin. Esto permitirá a los expertos priorizar los riesgos más críticos y desarrollar estrategias de respuesta efectivas para aumentar las posibilidades de operaciones exitosas.

Asignación de reabastecimientos en vuelo mediante programación lineal (DESEi+d 2022: 46)

Irene Ortiz, Rafael García y Carlos Márquez

Se entiende por reabastecimiento en vuelo al proceso consistente en el repostaje de combustible desde una aeronave comúnmente llamada *tanker* a otra aeronave receptora en vuelo.

En el presente trabajo se propone un modelo de programación lineal mixto para resolver un problema de asignación de *tankers* a reabastecimientos en vuelo, siendo este un caso particular del conocido problema de asignación de tareas a máquinas paralelas. Concretamente, se supone que como datos iniciales asociados a los reabastecimientos, se conocen:

- los instantes en los que se pueden comenzar,
- las zonas habilitadas para ello,
- su grado de importancia,
- su duración,
- y el instante en el que se deben finalizar.

Además, se permite finalizar cada reabastecimiento con cierto retraso pero siempre antes de un *deadline* prefijado para cada uno de ellos.

Así, el modelo propuesto está basado en el presentado por Kaplan y Rabadi en 2012, en el que los autores minimizaban los retrasos ponderados. De este modo, como una mejora de este, nuestro modelo consigue una optimización multicriterio minimizando no solo los retrasos ponderados, sino también el número de *tankers* usados, el rango de actuación total de estos y el número de reabastecimientos no realizados, simultáneamente. Asimismo, entre otras mejoras, también se incorporan nuevas variables de decisión que permiten dar la flexibilidad de escoger el tipo de reabastecimiento que se va a llevar a cabo en cada zona, pudiendo escoger entre *boom* y *drogue*.

Finalmente, se aplica el modelo a un caso de estudio de 30 reabastecimientos a realizar en dos zonas, cada una de ellas con tres niveles, analizando el resultado obtenido y la implicación de la elección de los pesos involucrados en la función objetivo. Esta resolución permite margen para decidir si se prefiere minimizar costes, maximizar los *tankers* disponibles ante posibles imprevistos, etc.

Diseño, implementación y validación de una solución *blockchain* en factoría 4.0 de defensa (DESEi+d 2022: N.º 94)

Salomón Fereres

En el contexto actual de digitalización y mejora de los procesos productivos a través del concepto denominado 4.0, las soluciones basadas en la tecnología *blockchain* toman un papel especialmente interesante. El hecho de poder contar, entre otras ventajas, con una trazabilidad inmutable desde origen de ciertos productos supone en una primera instancia una nueva dimensión en cuanto a la calidad de fabricación en estas cadenas de suministro en especial en el entorno de defensa para asegurar el ciclo completo del producto y eliminar el riesgo de falsificación de piezas.

Este documento propone un diseño de sistema y presenta unos primeros indicadores de implementación y validación de una plataforma basada en *blockchain* dentro de una factoría 4.0 de equipamiento de alta tecnología aplicado al sector aeroespacial y de defensa, donde asegurar la trazabilidad de los componentes que conforman un subsistema es esencial.

Todo este desarrollo se enmarca dentro de la ejecución de un proyecto cuyo resultado principal es la obtención de datos que permitan establecer las tendencias de la introducción de esta tecnología, tales como una reducción de costes y un aumento de la capacidad de fabricación para la cadena de suministro de una entidad corporativa. El presente documento se centra no solo en la importancia que tiene abordar cada una de sus fases en un caso de estudio real sino también en las perspectivas futuras para escalar dicho sistema a otros.

Algoritmo para la optimización de recursos críticos en el tiempo (DESEi+d 2022: 131)

Eduardo García Julián

Durante la conducción de operaciones, y en los días previos al inicio de estas, los cuarteles generales desarrollan sus actividades en un ambiente frenético en el que es necesario un elevado número de reuniones de coordinación entre representantes de distintas células. Las limitaciones de tiempo disponible para que se lleven a cabo y la escasez de personal para asistir convierten esta situación en un problema complejo, ya que puede haber un elevado número de restricciones que limiten, o incluso eliminen, el espacio de soluciones factibles.

Con el objetivo de buscar una solución al referido problema, se desarrolló un algoritmo que es capaz de optimizar el tiempo y el personal necesario para llevar a cabo esas reuniones.

Una vez desarrollado, se ha observado que es aplicable a cualquier situación en la que diferentes entidades necesitan emplear varios recursos críticos a lo largo de un espacio de tiempo, incluso puede ser mediante un apoyo mutuo, en un escenario tan restrictivo que es probable que no haya soluciones factibles.

El algoritmo desarrollado, bautizado con el nombre de ORCRIT (optimizador de recursos críticos en el tiempo), emplea técnicas de metaheurística, concretamente un algoritmo genético, adaptado a las necesidades del problema. Esto permite que no sea necesario tener soluciones válidas, ya que la aplicación ofrece la información necesaria para que aquellas más cercanas a la región factible se modifiquen o se adquieran los recursos mínimos necesarios para poder resolver el problema.

Más allá de un gestor de reuniones, que fue la idea con la que se inició el desarrollo del algoritmo, se ha observado el potencial de ORCRIT como herramienta para el planeamiento de apoyos logísticos y de combate, así como para la optimización del personal empleado en los diferentes talleres de mantenimiento y reparación de la unidad de helicópteros del Ejército de Tierra.

Resolución del problema de asignación de depósitos de suministros militares a puntos de demanda por medio de algoritmos bioinspirados (DESEI+d 2022: 152)

Luis Miguel Moreno-Saavedra, David Casillas-Pérez, Sancho Salcedo-Sanz, Silvia Jiménez-Fernández y José Antonio Portilla-Figueras

Uno de los problemas más importantes en logística militar es la asignación de depósitos de suministros en una región con puntos demandantes de los mismos, de tal modo que se minimice el coste y se garantice el reparto de dichos suministros. El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una aplicación que optimice la asignación de depósitos de suministros para uso militar, dentro de un área geográfica determinada, con puntos demandantes de suministros. Esta aplicación recibe como entrada las coordenadas geográficas de puntos suministradores de recursos y las de los puntos demandantes de dichos recursos. Posteriormente, establece un problema de optimización no lineal basado en el cálculo de los caminos más cortos, que se resuelve a través de un algoritmo de optimización heurística basado en técnicas bioinspiradas.

El algoritmo de optimización se encargará de asignar a cada punto demandante de recursos un único punto de suministro, cumpliendo un conjunto de restricciones:

- Todos los sitios demandantes de recursos deben recibir suministros.
- Se debe minimizar la suma de todas las distancias de cada punto de suministro a sus demandantes.
- La capacidad total que puede repartir un punto de suministro ha de ser mayor que la capacidad de todos los puntos a los que da servicio.
- Puede existir una restricción temporal si se trata de material urgente como podría ser material médico.

Una vez que se ha realizado la asignación, la aplicación mostrará una figura donde los puntos demandantes de recursos tendrán un color u otro en función del punto suministrador de dichos recursos asignado, lo que facilita la interpretación visual del resultado.

Implantación de la metodología «Lean Six Sigma» en un canal de experiencias hidrodinámicas (DESEi+d 2022: 231)

**Patricia Díaz Torrijos, Francisco Javier Pérez Villalonga, Juan Carlos de la Rosa
Escribano y Jesús M. Tabero Godino**

La metodología «*Six Sigma*», nació como estrategia de control y mejora de calidad en Motorola a finales los 80, siendo un método estructurado de gestión de calidad que hace uso de la estadística, centrándose en la identificación y reducción de la variación en los procesos y buscando llevar la calidad de la organización a niveles próximos a la perfección. Basándose en datos, su objetivo es reducir los defectos impactando en 3 elementos clave: los clientes (mejorando su satisfacción mediante la mejora de la calidad), los procesos (mediante la mejora continua) y la propia organización (reduciendo los costos). Los proyectos gestionados mediante «*Six Sigma*» no están orientados a resolver los problemas directamente al cliente, sino que buscan arreglar los procesos, enfocándose en reducir defectos, costos y tiempos de ciclo.

La filosofía «*Lean Manufacturing*», en cambio, es un modelo de gestión enfocado en identificar y eliminar los desperdicios, analizando la cadena de valor, consiguiendo de esta manera un flujo de material estable y constante, en la cantidad adecuada, con la calidad asegurada y en el momento en que se necesita. Por tanto, tener la flexibilidad y fiabilidad necesarias para fabricar u ofrecer el servicio que el cliente necesite en cada momento. Su origen se remonta a los años 50 en Japón, concretamente se atribuyen a Toyota, con su famoso sistema de producción, los principios de esta metodología, que han sido incorporados posteriormente a empresas de todo el mundo.

Partiendo del objetivo de la excelencia en la gestión en el Centro de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, se muestran los resultados de mejora en los ensayos con modelos de buques y plataformas navales, obtenida mediante la implantación de la combinación de estas dos metodologías, llamada «*Lean Six Sigma*», siendo novedosa su aplicación en un centro de estas características.

DESE



**Área 4: Bases e
instalaciones**

DESE



4.1. Protección de bases e instalaciones



Protección de infraestructuras mediante escudos dinámicos formados por drones (DESEi+d 2022: 88)

Maria Guinaldo, José Sánchez y Salvador Zaragoza

Con la aparición de nuevas tecnologías, la protección de infraestructuras críticas requiere ser abordada por paradigmas distintos a los tradicionales. En este trabajo se propone el uso de un enjambre o sistema multiagente de drones o UAV (del inglés, *Unmanned Aerial Vehicles*) que se despliega formando un escudo en torno a la infraestructura y que se coordina de manera distribuida, manteniendo una topología de comunicación entre los distintos agentes en forma de triangulación de Delaunay, que asegura ciertas propiedades formales como que la formación sea rígida. El escudo consiste en el despliegue en forma de mallado sobre una superficie virtual (modelada como una cuádrica) en el espacio 3D en torno a la infraestructura a proteger. Se propone una ley de control distribuida de tal manera que, dada la topología y la distancia deseada entre cada par de agentes conectados, el sistema alcanza la configuración deseada. Asimismo, se propone un algoritmo para la reconfiguración del sistema en caso de que uno o varios agentes resulten dañados o se pierda comunicación con ellos. El algoritmo se ejecuta de manera distribuida, siendo los propios agentes los encargados de redefinir los nuevos enlaces de comunicación así como las nuevas distancias que deben mantener para poder ofrecer una cobertura uniforme de la superficie. El algoritmo también asegura que la nueva configuración mantenga las propiedades de triangulación de Delaunay. Para ello, ciertos agentes (anclas) permanecen fijos y el resto (o parte de ellos) se reconfigura. Los resultados obtenidos se ilustran a través de simulaciones. Los resultados de este trabajo se encuadran dentro del proyecto RECOVERY financiado por la Agencia Estatal de Investigación, y en el que colabora el CESEDEN como agente interesado en los resultados del mismo.

Análisis numérico y experimental de losas de hormigón armado reforzadas a diferentes distancias escaladas (DESEi+d 2022: I 30)

Santiago Martínez Almajano, Lina López, Ricardo Castedo, Anastasio Santos y María Chiquito

Este trabajo analiza la respuesta de ocho losas de hormigón armado, ensayadas a escala real, algunas de las cuales han sido reforzadas con fibras adheridas externamente. Los refuerzos se colocaron, en todos los casos, en la cara opuesta a la detonación del explosivo. Los ensayos se llevaron a cabo a tres distancias escaladas que variaban desde 0,84 a 0,21 m/kg^{1/3}. En el primero de los ensayos, a 0,84 m/kg^{1/3}, no se dispuso ningún refuerzo. De las cuatro pruebas realizadas a 0,42 m/kg^{1/3}, en uno no se colocó refuerzo, dos de ellas se reforzaron con fibra de carbono (CFRP) y otra se reforzó con fibra de vidrio (GFRP). De los tres ensayos realizados a 0,21 m/kg^{1/3}, uno no se reforzó, uno se reforzó con fibra de carbono (CFRP) y otro con fibra de vidrio (GFRP). La primera de las losas, instrumentada con sensores de presión y aceleración, se utilizó para la calibración de los modelos numéricos. Para la validación de las otras siete losas se ha utilizado, como parámetro, la superficie de daño. En la simulación numérica, se ha utilizado el código LS-DYNA, con dos aproximaciones para la descripción de la explosión: la hidrodinámica de partículas suaves (SPH) y la explosión de carga mejorada (LBE). Como modelos de material se han utilizado: el CSCM para el hormigón, el LINEAL PLASTICITY para el acero, y el FRP para la malla de refuerzo. Con el refuerzo con CFRP se han obtenido reducciones del área de daño en todos los ensayos. Los modelos numéricos han mostrado una buena correlación con los resultados de las pruebas al comparar las aceleraciones y niveles de daño. Los modelos SPH funcionan bien para las distancias escaladas alta y media, presentando resultados algo peores para la más baja.

Aplicación de tratamientos biológicos sostenibles en suelos y sedimentos contaminados por actividades militares (DESEi+d 2022: 161)

Carmen Fernández-López y José Julio Ortega-Calvo

Al igual que cualquier otra actividad industrial, las actividades militares pueden contribuir al deterioro del medio ambiente mediante la contaminación química de suelos y sedimentos. La extensión de la contaminación depende no solo del tipo de alcance militar y su periodo de actividad, sino también de la química tanto del suelo como del contaminante. En este sentido, la política medioambiental del Ministerio de Defensa está basada en el concepto de desarrollo sostenible, debiendo ser compatible con la misión de las Fuerzas Armadas, y dirigida a alcanzar los objetivos de la legislación vigente, en la conservación, protección y, recuperación de las condiciones medioambientales. Esta contribución analiza los principales tipos de contaminación química causados por las actividades militares, y soluciones para su adecuada gestión ambiental. En concreto, a través de una colaboración estable entre CUD-AGA e IRNAS-CSIC, hemos estudiado los procesos de tratamiento biológico (biorremediación) de suelos contaminados por hidrocarburos. Se aportan resultados obtenidos con un novedoso sistema experimental que integra la dosificación pasiva de ^{14}C -pireno y la inoculación con bacterias móviles del suelo (*Pseudomonas putida* G7), para la mejora de la eliminación biológica del pireno en presencia de plantas de girasol. Para investigar la absorción, transporte y acumulación del pireno procesado microbianamente en los girasoles, se recogieron muestras de lixiviados y plantas en diferentes momentos del cultivo hasta la cosecha. A partir de los resultados obtenidos, sugerimos que este tipo de técnicas innovadoras podrían ser una alternativa adecuada y de bajo coste para reducir los riesgos de fuentes distantes de contaminantes, en suelos y sedimentos afectados por la actividad militar.

Caracterización experimental de la inmisión de gas radón a través del suelo en espacios cerrados (DESEi+d 2022: 242)

Arturo González Gil, Andrea Marín Alonso, Lara Febrero Garrido, Mercedes Solla Carracelas, Antón Cacabelos Reyes, Miguel A. Gómez Rodríguez y F. Javier Rodríguez Rodríguez

La principal medida de mitigación de la presencia de gas radón en edificios existentes es la ventilación. Sin embargo, una renovación excesiva del aire en el interior de estos edificios puede suponer un gasto energético desmesurado en su climatización. En este sentido, el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar (CUD-ENM) ha financiado el proyecto de investigación RnVent con el objetivo de estudiar el comportamiento del gas radón en espacios cerrados y desarrollar estrategias de ventilación energéticamente eficientes, cuyos resultados pueden ser de relevancia para las diferentes bases e instalaciones de la Fuerzas Armadas y del Ministerio de Defensa que se encuentran en zonas de riesgo elevado por presencia de radón.

En el presente trabajo se presentan la metodología y los resultados de una de las primeras fases de dicho proyecto: la identificación y caracterización de los principales focos de entrada de radón en una dependencia de la planta baja del edificio del CUD-ENM en la que la concentración de este gas radiactivo es relativamente elevada. El estudio se ha llevado a cabo mediante un análisis comparativo de la tasa de inmisión de radón en diferentes puntos del suelo de dicha dependencia, siguiendo la norma UNE-EN ISO 11665-7: método de acumulación para estimar la tasa de exhalación en superficie. A partir de los resultados experimentales, se deduce que la tasa de inmisión media es de 37,71 mBq/m²/s, pero que este valor no es homogéneo en toda la superficie, si no que existen zonas con valores marcadamente más elevados. Asimismo, se comprueba mediante el uso de técnicas de georradar que estas zonas coinciden con discontinuidades en el subsuelo del edificio.

Gestión de la presencia de radón en la Escuela Naval Militar: determinación de concentraciones y evaluación de riesgos (DESEi+d 2022: 249)

Lorena González Gil, Cristina Camacho Martín, Rosa Devesa-Rey, Arturo González Gil, Antón Cacabelos Reyes y Pablo Falcón Oubiña

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la presencia del gas radón en espacios interiores es la primera causa de cáncer de pulmón en no fumadores. Proviene del uranio, presente en las rocas graníticas, por lo que la Escuela Naval Militar (ENM), como muchas otras bases e instalaciones terrestres, se encuentra en una zona susceptible de presentar altas concentraciones de radón. En este trabajo se pretende, en primer lugar, elaborar un mapa de concentraciones de radón en la ENM que nos permita estimar las dosis efectivas a las que está expuesto su personal, para posteriormente poder gestionar de manera eficiente el riesgo asociado a la presencia de este gas. Además, se pretenden establecer una metodología con criterios claros que permitan extrapolar este estudio a otros lugares de trabajo.

Se seleccionaron más de 25 dependencias representativas de la ENM en las que convenía realizar mediciones de radón, encontrándose valores muy dispares entre ellas. A partir de los resultados se determinó la dosis efectiva anual a la que se encuentran expuestos diferentes colectivos: personal, profesorado y alumnado, en función del tiempo y las dependencias que frecuentan. Se observó que el 34 % de las estancias está por encima del límite de concentración que marca la normativa de 300 Bq/m³, lo que en algunos casos da lugar a dosis efectivas anuales elevadas (4-6 mSv). Puesto que no existe una dosis por debajo de la cual el radón no suponga un riesgo para la salud, es necesario tomar medidas de mitigación tanto en los lugares donde la concentración ha resultado estar por encima de los límites legales como en los demás casos. Con este objetivo surge el proyecto RnVent, en el que se han probado diferentes estrategias de ventilación, que permitan disminuir las dosis efectivas de exposición al radón de manera energéticamente eficientes.

DESE



4.2. Energía en bases e instalaciones



Experiencias en el dimensionado y operación óptima de microrredes (DESEi+d 2022: 233)

Gregorio Fernández Aznar, David Miguel Rivas Ascaso, Daniel Zaldívar Moreno y Luis Fernando Luengo Baranguan

Las principales ventajas de las tecnologías renovables al generar energía eléctrica para cubrir la demanda tanto de instalaciones fijas como portátiles o temporales, ya sean aisladas o conectadas a la red, son su modularidad y capacidad de adaptarse a todo tipo de demandas (con potencias desde pocos vatios al orden del megavatio), un precio bajo y en constante disminución, la existencia de multitud de fabricantes y proveedores, un bajo y sencillo mantenimiento y un recurso energético, principalmente en el caso de solar fotovoltaica, disponible a lo largo de todo el globo. Esta última ventaja adquiere mayor importancia en el suministro eléctrico de bases ubicadas en países en desarrollo puesto que permite desvincular la instalación de la red eléctrica local, poco segura o inexistente en muchos casos, y de la necesidad de adquirir combustible para grupos electrógenos a suministradores locales.

Por el contrario, los principales inconvenientes de las renovables son la aleatoriedad y falta de control sobre el recurso energético. Una de las formas más habituales de resolver estas desventajas es un correcto dimensionado de los equipos de generación, hibridando tecnologías tanto de generación como de almacenamiento, y una correcta operación de los mismos.

A través de esta comunicación CIRCE expondrá sus principales experiencias y resultados de sus proyectos de investigación aplicables al diseño y gestión de instalaciones energéticas a bases militares: dimensionado óptimo de instalaciones, análisis de estabilidad y fiabilidad, así como gestión optimizada de las mismas. Destacan en este caso los trabajos realizados en proyectos como FLEXICIENCY, EV-OPTIMANAGER, SYNERGY y PARITY, en los tres primeros se desarrollan herramientas para la gestión óptima de microrredes, minimizando costes energéticos y maximizando autoconsumo local de energía, mientras que en el último se está desarrollando y probando una herramienta para la gestión técnica de microrredes

DESE



4.3. Modernización de bases e instalaciones



Modelos epidemiológicos: Estimadores de estado basados en información incompleta (DESEID-2020-59)

Gómez López, Miguel Ángel; Solera Rico, Alberto; Gómez Pérez, Ignacio; Valero Sánchez, Eusebio

El modelado y análisis de los procesos de difusión ha sido un área de investigación intensa y que hace uso a menudo de muchos campos diferentes de la ciencia: desde la biología matemática, la física o la informática y economía, hasta la ingeniería. Uno de los primeros modelos epidémicos pertenece a Daniel Bernoulli en 1760, motivado por el estudio de la propagación de la viruela. Además de Bernoulli, había muchos investigadores diferentes que también trabajaban en modelos matemáticos de epidemias en esta época. Y aunque estos modelos iniciales fueron bastante simplistas, marcaron el inicio y las vías de desarrollo y de dichos modelos, con el objetivo de proporcionar información sobre cómo se pueden propagar diversas enfermedades a través de una población. En los últimos años, ha habido un resurgimiento del interés en estos problemas a medida que el concepto de «redes» gana terreno sobre estos modelos primitivos y se vuelve cada vez más frecuente en el modelado de muchos aspectos de este y otros diferentes del mundo actual. Sin embargo, el talón de Aquiles de la modelización de estos procesos continúa siendo la elección o calibración de estos parámetros. Pese a un mayor número de datos disponibles, la heterogeneidad entre países o regiones a la hora de recoger dichos datos hace que el proceso de ajuste del modelo sea complejo y a menudo infructuoso sin los datos adecuados.

DESE

Área 5:
Plataformas
terrestres

DESE



5.1. Diseño y movilidad de plataformas terrestres



Sensibilidad de vehículos militares frente a IED terrestres. Simulación numérica (DESEi+d 2022: 22)

Carlos Mamerto Navarro Teruel, Santiago Martínez Almajano, Antonio Cantero Obregón, Manuel Aparicio Muñoz y Miguel Ángel Roperó Azañón

Los IED (Improvised Explosive Device) son uno de los principales riesgos a los que se enfrenta un vehículo militar en zona de operaciones. En el caso de nuestras FAS, existen múltiples registros de ataques de diversa consideración mediante el empleo de IED, llegando a causar el fallecimiento de militares españoles.

Este estudio se centra en la protección del personal localizado en el interior de un vehículo con blindaje RHA (Rolled Homogeneous Armour) frente a IED. Para ello, se valida un modelo numérico en LS-DYNA ajustando el modelo material y método de explosión con respecto a estudios previos en este ámbito. Posteriormente, el modelo se aplica a un vehículo con un blindaje ligero y con diferentes formas geométricas para la protección frente IED bajo el vehículo. El objetivo es evaluar si el blindaje inferior en forma de V presenta una mayor resistencia al daño que el blindaje plano.

Se concluye que el modelo, a falta de ensayos experimentales, refleja con cierta fidelidad el comportamiento del blindaje frente a una explosión. Además, el blindaje inferior en forma de V reduce en gran medida los daños ocasionados al vehículo y, en consecuencia, a los ocupantes. El modelo es fácilmente aplicable a otras casuísticas. Una vez se ajuste el modelo mediante ensayos experimentales se permitirá disminuir el gasto económico causado por estas pruebas y evaluar las numerosas situaciones que pueden surgir en el caso de un ataque con IED a un vehículo blindado.

Diseño, implementación, entrenamiento y validación de un sistema de clasificación automático de las muestras de aceites lubricantes y líquidos hidráulicos basado en redes de neuronas artificiales aplicado al programa de análisis de aceites del ET (DESEi+d 2022: 26)

Antonio Manuel Martínez Heredia, Francisco Ochando Terreros, Antonio Cantero Obregón y Sebastián Ventura Soto

A partir de la necesidad operativa de determinar la conformidad para el servicio de los aceites lubricantes y líquidos hidráulicos empleados en plataformas del Ejército de Tierra, considerando los parámetros obtenidos en los análisis de las muestras realizado por el Laboratorio Central de Ejército, y tras el estudio del estado del arte tecnológico actual, se llevan a cabo las etapas necesarias para lograr desarrollar una herramienta de apoyo a la decisión basada en la utilización de un sistema de clasificación automático con redes de neuronas artificiales (RNA) que permita disponer de resultados con una fiabilidad adecuada relativos a la conformidad de los elementos fungibles analizados, empleando una solución acorde a los medios existentes en el LCE.

Los pasos que se han seguido para conseguir una solución satisfactoria han sido:

- recopilación de un adecuado conjunto de datos iniciales de partida (1.835 elementos),
- diseño de un conjunto de RNA basada en perceptrones multicapa agrupado portipo de aceites/líquidos hidráulicos,
- configuración de las entradas y salidas necesarias para estas,
- entrenamiento de las RNA con el 90 % de los elementos fungibles,
- validación de los resultados obtenidos con el 10 % de los elementos fungibles,
- compartir los resultados con el personal responsable del LCE e incorporar sus comentarios.

En el presente trabajo se ha desarrollado un sistema de apoyo a la decisión en dos fases mediante el empleo de un conjunto de RNA (perceptrones multicapa):

- FASE 1: clasificación de manera automática de la conformidad (CONFORME/NO CONFORME) de cinco tipos de aceites lubricantes/líquidos hidráulicos (O-1236, O-1178, H-548, O-237 y H-573).
- FASE 2: a partir de la fase 1 anterior, proceder a la clasificación de manera automática en sub-grupos de conformidad (CONFORME/CONFORME A1) y no conformidad (NO CONFORME B2 y NO CONFORME B3/B4) para el aceite lubricante (O-1236)

Mantenimiento inteligente de los vehículos del Ejército a través de la tribología (DESEi+d 2022: 69)

Carlos López Pingarrón, Carlos Rodrigo, Ana M. Perez Calabuig, Sandra Pradana López, Ramón Máiquez López, Carlos Jesús Vega Vera y José S. Torrecilla

En los últimos años la inteligencia artificial ha supuesto un profundo cambio tanto en el uso de la información como en su tratamiento. Son muchos los campos tecnológicos en los que los métodos de aprendizaje automático están destacando hoy día y uno de ellos es en el campo tribológico. Mediante un análisis tribológico se pueden determinar parámetros que determinan el estado del aceite lubricante (viscosidad, TBN, TAN) y de sus elementos de desgaste que ayudan a la predicción del estado del motor y de la caja de cambios de vehículos del Ejército de Tierra. El objetivo de este estudio es, mediante la utilización de modelos matemáticos basados en redes neuronales artificiales y una base de datos de imágenes, el desarrollo de un modelo fiable, rápido, sencillo y barato que pueda evaluar la calidad de los aceites lubricantes de motores y caja de cambios y predecir las posibles averías catastróficas que se pudieran producir en ellos, constituyéndose en un pilar fundamental de la logística predictiva. La principal ventaja que se obtendría mediante este método basado en inteligencia artificial es la predicción con precisión y eficacia de características tribológicas y el estado de aceites lubricantes, motores y cajas de cambios sin la necesidad de enviar la muestra de aceite a un laboratorio especializado en dichos análisis y todo ello sin tener que desmontar el motor o la caja de cambios de los vehículos. Todo esto repercutiría en una mejora en el mantenimiento de los vehículos y sobre todo una reducción notable de los costes económicos de las reparaciones.

MANPREDIC: un sistema para el mantenimiento predictivo de plataformas terrestres del Ejército de Tierra (DESEi+d 2022: 57)

**Aurora Esteban Toscano, José María Moyano Murillo, José María Luna Ariza,
Antonio Molina Chamorro y Sebastián Ventura Soto**

El mantenimiento de instalaciones industriales ha sido siempre una tarea crítica para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas y su disponibilidad.

Las estrategias de mantenimiento han evolucionado desde un mantenimiento correctivo, donde las intervenciones se producen como respuesta a fallos en la instalación, y un mantenimiento preventivo, en el que las intervenciones tienen lugar cada periodo de tiempo preestablecido, hasta un mantenimiento predictivo, en el que la información que proporcionan los sensores ubicados es utilizada para predecir fallos y/o generar alertas que serán empleadas para llevar a cabo decisiones relativas al mejor momento para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

El propósito de este trabajo es presentar el proyecto MANPREDIC, un demostrador tecnológico que está siendo usado por el Ejército español (MALE, Mando de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra) para comprobar la idoneidad de estas nuevas tecnologías para el mantenimiento de las plataformas terrestres del Ejército. El sistema en cuestión comprende los siguientes subsistemas:

- a. Módulo de monitorización para plataformas terrestres.
- b. Sistema informático que, recibe, almacena y acondiciona la información de las plataformas.
- c. Módulo para el desarrollo de modelos de detección de anomalías y predicción de fallos.
- d. Módulo de visualización y generación de predicciones.

Este demostrador tecnológico representa el germen de soluciones más complejas integradas dentro de las tendencias especificadas por los sistemas de armas NATO bajo la especificación NGVA como los definidos en Mantenimiento Bajo Condición Plus (CBM+) , Sistemas de Monitorización de Uso y Operatividad (HUMS) o Gestión Integrada de la Operatividad de Vehículo (IVHM) .

El trabajo presentará los principios de diseño del sistema, algunos detalles de implementación y, finalmente, describirá la funcionalidad del producto que se ha presentado a la DGAM, responsable del proyecto indicado.

Comportamiento experimental y numérico de paneles FML de acero inoxidable y fibra de vidrio (DESEi+d 2022: 166)

José A. Loya, Carlos Santiuste, Borja Valverde y Marcos Rodríguez-Millán

El uso combinado de materiales avanzados, como aceros y materiales compuestos que forman laminados multilaminados FML, puede proporcionar soluciones más eficientes y ligeras que los blindajes monolíticos. La combinación de las propiedades de los materiales constituyentes, les permite alcanzar una alta capacidad de absorción de energía y una adecuada resistencia estructural.

La metodología combinada utilizada en este trabajo (fabricación, ensayos de impacto y simulación numérica) permite desarrollar modelos numéricos calibrados capaces de predecir el comportamiento balístico de placas FML de diferente número de capas.

Se han analizado probetas de material base, así como FML de acero inoxidable y fibra de vidrio, en secuencias de 1,5 y 2,4 mm de espesor total.

Las distintas probetas fueron impactadas con esferas de acero templado de diámetro 7,5 mm utilizando un lanzador neumático. Mediante el uso de cámaras de alta velocidad se midió la velocidad del proyectil durante el impacto, y la residual en caso de perforación, obteniendo la correspondiente curva balística para cada caso. Adicionalmente, se ha evaluado la deformación de la cara posterior, el *petalling*, la extensión del daño en términos de delaminación de las interfaces metal-composite, matriz y fibras.

La modelización numérica se ha realizado con el código comercial de elementos finitos ABAQUS/Explicit. Se han desarrollado modelos constitutivos para los materiales de partida, calibrados con los datos obtenidos. Posteriormente, se han desarrollado modelos para ambas secuencias de apilamiento, incluyendo interfaces cohesivas entre los distintos materiales, cuyas predicciones numéricas se comparan satisfactoriamente con los resultados experimentales correspondientes.

El modelo numérico de FML obtenido proporciona una adecuada capacidad predictiva de su comportamiento balístico respecto a los ensayos experimentales, tanto de la curva balística como del daño inducido para varias secuencias de apilamiento y espesor.

Aligeramiento de blindajes para su empleo en vehículos ligeros bajo amenaza de mina (DESEi+d 2022: 252)

Javier Peralta, Luis Martínez Thomas, Luis Carlos González Atance y Luis Mariano Alcázar

Las limitaciones que presentan los vehículos ligeros a la hora de instalar protecciones contra la amenaza de mina hacen necesario el empleo de nuevas soluciones que disminuyan la masa total que soportan. En este proyecto se estudian y desarrollan soluciones integrales que incluyan la optimización de la geometría, el empleo de disipadores de energía así como el empleo de recubrimientos de poliurea. Se observa que estos recubrimientos aumentan la protección y aligera las protecciones contra detonaciones de alta intensidad.

DESE



5.2. Sistemas integrados





UAV táctico sobre plataforma portátil (DESEi+d 2022: I)

Javier Cortijo Miguel y Antonio Cantero Obregón

El objetivo del presente proyecto es llevar a cabo el estudio para la implementación de un dispositivo UAV instalado en la plataforma móvil VRCC CENTAURO. Para ello analizaremos primeramente el empleo táctico del vehículo Centauro en las unidades de caballería, tripulación y carencias en el teatro de operaciones.

Seguidamente analizaremos las dimensiones del vehículo para conseguir instalar la estructura soporte del UAV teniendo en cuenta la complejidad que atañe implementar esto en un vehículo militar ya diseñado en el que todas las partes ya están pensadas para su uso. Estudiaremos el medio de enlace óptimo entre el UAV y la plataforma fija donde será transportado en el vehículo.

Estudiaremos los diversos UAV que nos proporciona el mercado, las necesidades operativas que busquemos satisfacer mediante la implementación de este dispositivo y a continuación, analizando las dimensiones y el peso del UAV implementaremos en dicho dispositivo una cámara acorde a las características técnicas que estamos buscando que nos permita ver con claridad objetivos tanto de día como de noche.

Todo ello debe ser integrado en un sistema de mando y control que permita situar en el mapa los objetivos levantados mediante el empleo del UAV, y así ser capaz de dominar el teatro de operaciones.

Mediante la implementación de estos sistemas tecnológicos se pretende dotar a estos vehículos algo anticuados de nuevos medios que nos permitan estar a la vanguardia de los ejércitos con una visión más evolucionada hacia donde deben mirar nuestras Fuerzas Armadas.

La compatibilidad del concepto de ingeniería concurrente con el desarrollo de sistemas para uso militar: el caso del Programa Escorpión (DESEi+d 2022: 228)

Joaquín Catalá Lloret y Fernando Cases Vega

Las conocidas como EDT (tecnologías emergentes disruptivas) están llamando la atención de los países OTAN debido al impacto que su elevado ritmo de desarrollo y potencial uso por parte de potenciales adversarios puede tener sobre el *statu quo*. Algunos autores incluso están planteando si el actual modelo de obtención de recursos materiales basado en un proceso secuencial puede proporcionar resultados sin verse superado por el rápido avance tecnológico.

En el ámbito civil, existen conceptos como los de ingeniería concurrente y diseño orientado al usuario, cuya aplicación a las EDT permitiría mitigar los riesgos de retraso en los tiempos de desarrollo de nuevos sistemas, por un lado; y de no actualización de aspectos no tecnológicos del uso de los sistemas, como la definición de conceptos de uso, de doctrina, o de tácticas, técnicas y procedimientos.

En el presente artículo va a ofrecerse una visión del programa de experimentación en robótica terrestre Escorpión, y de cómo la Dirección General de Armamento y Material contempla que la colaboración con las autoridades responsables del desarrollo de conceptos, el adiestramiento y la doctrina podría aprovechar el impulso tecnológico que se pretende obtener con el programa.

DESE



5.3. Robótica terrestre



Caracterización dual de las competiciones de robótica espacial (DESEi+d 2022: 153)

**Miguel Ángel González Santamarta, Francisco J. Rodríguez Lera, Álvarez-Aparicio
Claudia, Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Camino Fernández Llamas y Vicente
Matellán Olivera**

El interés por la robótica espacial sigue creciendo en los entornos académicos. Prueba de ello es que diferentes instituciones y agencias espaciales organizan competiciones donde equipos de investigadores compiten en la generación de algoritmos de control para robots espaciales. De este modo, nos encontramos con entornos simulados realistas como los propuestos por NASA Space Robotics Challenge Phase II [1], o JPL - AWS [2]; también encontramos competiciones en entornos reales como el propuesto en la European Rover Challenge [3]. Este tipo de escenarios presentan retos de clara perspectiva dual tales como sistemas de control de misión de diversos vehículos, la gestión de las comunicaciones entre plataformas móviles, el control de la energía, etc.

La comunicación propuesta presentará la experiencia del Grupo de Robótica en competiciones simuladas respecto a tres cuestiones asociadas a la superación de los desafíos propuestos: primero, la aplicación de algoritmos de localización y *mapping* sobre rovers espaciales en entornos altamente repetitivos; segundo, el despliegue de sistemas de control y planificación de misión de vehículos autónomos; y por último, el proceso para actualizar y refactorizar algunas de estas soluciones [4] para su aplicación en el rover real del grupo [5].

Se presentarán tanto los fundamentos teóricos de los algoritmos, como las lecciones prácticas aprendidas, tanto en las competiciones con simuladores, como en el traspaso del *software* del simulador a un vehículo real autónomo de exteriores, discutiendo en cada caso la relevancia de esos problemas, tanto desde el punto de vista civil como el militar.

DESE



**Área 6:
Plataformas
navales**

DESE



6.1. Diseño de plataformas navales



La necesidad de renovar la flotilla hidrográfica del Instituto Hidrográfico de la Marina (DESEi+d 2022: 33)

Gustavo Gómez-Pimpollo Crespo

Los barcos hidrográficos que dispone la Armada española, para llevar a cabo la responsabilidad de Estado en materia de cartografía náutica y seguridad en la navegación, tienen más de 47 años de servicio, lo que hace muy necesario modernizar la actual flotilla hidrográfica, sustituyendo las actuales plataformas por un buque hidrográfico oceánico (BHO) multidisciplinar, dos buques hidrográficos costeros (BHC) y 5 lanchas hidrográficas (LL.HH.), dos de ellas a bordo del BHO.

Esta necesidad de renovación es urgente, empezando por los BHC, ya que solo queda uno de los cuatro que había en servicio. Además, este barco, el BH *Antares*, tiene importantes limitaciones por obsolescencia o capacidad que impacta directamente en su eficacia en el cumplimiento de su misión.

En este artículo, además de indicar la propuesta de la futura flotilla hidrográfica, se muestra el motivo por el cual es necesario incrementar el número de plataformas en nuestras aguas someras.

Diseño conceptual de un patrullero de altura: una idea para la renovación de la flota en astilleros privados (DESEi+d 2022: 79)

Mariano Ugarte Zarco, Pedro Carrasco Pena y Gerardo González-Cela Echevarría

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental elaborar un estudio conceptual para evaluar el coste de obtención de una plataforma de altura multifunción (PAM) empleando la espiral de diseño y los cálculos tradicionales de análisis exploratorio de juegos de dimensiones.

El diseño conceptual de un buque de guerra es el primer escalón en el análisis industrial de una plataforma capaz de cumplir con sus objetivos tácticos (ONST). Esta evaluación puede hacerse de distintas formas y con distintas herramientas de análisis entre las que, el análisis directo de plataformas o la evaluación de parámetros típicos de este tipo de buques, ha sido el seleccionado.

Debido a los criterios actuales relativos a determinados conceptos como eficiencia energética, cuidado medioambiental o reducción de costes, es necesario incluir, de forma paralela al diseño de las nuevas construcciones, un estudio relativo a los mismos, además de tener presentes las posibilidades que ofrece el mercado que puedan facilitar la obtención de la plataforma de forma más rápida y económica como puede ser considerar la construcción en astilleros privados nacionales.

Modelo de recuperabilidad de un buque militar (DESEi+d 2022: 139)

Rafael Martín Agüí, Luis Alberto Socorro Domínguez y Juan Antonio Clemente Fernández

Navantia, como constructor naval líder en Europa, pretende dotar a sus buques con sistemas que incrementen su capacidad de supervivencia mediante la aplicación de soluciones que los hagan menos detectables, menos vulnerables y más fácilmente recuperables. No es una tarea fácil. Desde las primeras fases de diseño es necesario garantizar que el buque, en caso de que se produzca una avería que provoque una inundación, proporcione los medios adecuados para recuperar el buque y mantenerlo con la mayor capacidad operativa posible.

Tradicionalmente, este tipo de análisis son en su mayoría estacionarios y de un solo dominio, en los que los resultados obtenidos suelen ser conservadores debido a la incertidumbre en el proceso de cálculo y al desconocimiento de la dinámica implicada. Este problema combina múltiples dominios físicos que incluyen la dinámica de fluidos, la estabilidad dinámica del buque, la hidráulica y la gestión de señales y de la tripulación, entre otros. Habitualmente, estos dominios se han estudiado de forma independiente con su propio *software* especializado pero las actuales herramientas de simulación multi-dominio nos han permitido analizar este problema bajo un único entorno. Navantia está desarrollando un modelo de recuperabilidad de un buque sometido a avería en el que se consideran múltiples físicas y se obtienen resultados en el dominio del tiempo, lo que permite analizar la dinámica del problema. Con este modelo se busca mejorar el diseño de los sistemas y analizar las operaciones de control de averías que debe realizar la dotación.

Proceso de diseño óptimo y fabricación avanzada del casco de un vehículo acuático de superficie para ser propulsado mediante un tren de potencia híbrido baterías-pila de combustible polimérica de hidrógeno (DOVELAR) (DESEi+d 2022: 238)

Félix Terroba Ramírez, Jordi Renau Martínez, Eduardo López González, Diego Tejada Guzmán, Laura Vargas Vázquez, Fernando Isorna Llerena, Francisco Javier Pérez Villalonga, Adelaida García-Magariño, Manuel González Gallego, Victor García Peñas, Alberto Giménez Sancho, Manuel Martínez Córcoles, Luis Domenech Ballester, Fernando Sánchez López y Manuel Ibáñez Arnal

El desarrollo de vehículos no tripulados es una de las ramas con mayor proyección en la industria de la seguridad y la defensa, siendo la gran mayoría de ellos alimentados mediante baterías eléctricas, lo que limita su autonomía y capacidad de carga. El proyecto DOVELAR tiene como objetivo principal desarrollar un tren de potencia híbrido batería-pila de combustible de hidrógeno para la propulsión de vehículos eléctricos ligeros aumentando tanto su autonomía como capacidad de carga gracias a la sinergia entre baterías, hidrógeno y el diseño óptimo del algoritmo de gestión de la energía. En el presente trabajo se muestra la parte de diseño óptimo, fabricación y validación del casco de un vehículo acuático de superficie (USV) en el que validar la planta de potencia en entorno real.

El desarrollo del USV es un proceso complejo en el que están involucrados científicos-tecnólogos del INTA y del CEU. Para el desarrollo del USV se impone el uso de un monocasco para optimizar el método de fabricación mediante técnicas de construcción polimérica aditiva, que nos permite tener mayor libertad en las formas y mínimo peso en la estructura. El vehículo se diseñará para integrar el novedoso sistema de propulsión híbrida y un sistema de navegación por satélite apoyado por un sistema de visión artificial para poder realizar misiones de vigilancia e inspección en aguas tranquilas. En la etapa inicial, los diseños que permiten integrar todos los requisitos se validan mediante *software* de análisis tipo CFD y una vez ejecutado el diseño óptimo se procederá a realizar una validación experimental mediante ensayos de resistencia al avance y de propulsión aislado en las instalaciones del INTA-CEHIPAR con los que obtener los requisitos de potencia necesarios para el desarrollo de la planta de potencia y algoritmo de gestión de energía, verdadero objetivo del proyecto DOVELAR.

DESE



6.2. Control, energía y propulsión naval



Control de embarcaciones de superficie con incertidumbres y perturbaciones mediante modos deslizantes no lineales y adaptativos con convergencia en tiempo finito (DESEi+d 2022: 49)

José Antonio Prieto

En este trabajo se examina el problema altamente no lineal relacionado con el diseño de control de seguimiento para buques de superficie considerando la presencia de incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas. Para ello se presenta una solución basada en una aproximación no lineal adaptativa del algoritmo *Super-Twisting*, de forma que el error en la trayectoria deseada se reduce a un pequeño conjunto que contiene el origen en tiempo infinito. La sencillez en la selección de parámetros y la robustez, evitando los fenómenos conocidos como *peaking* y *chattering*, se encuentran entre las principales fortalezas de la metodología propuesta. La eficacia del controlador se valida mediante ejemplos numéricos.

Redes neuronales artificiales (RNA): aplicación al análisis de fluidos (DESEi+d 2022: 78)

Jesús Cillero Ares, Pedro Carrasco Pena y Pedro Fernández de Córdoba Castellá

En este trabajo se presenta un estudio experimental y numérico aplicado al análisis del comportamiento de fluidos en tanques, concretamente al fenómeno de *Sloshing*. Los fenómenos de *Sloshing* se producen en los tanques en que se transportan fluidos que se encuentran en movimiento, pudiendo producir averías en la estructura del barco, por lo que su estudio es de gran importancia.

En este contexto, para el manejo de las redes neuronales artificiales (RNA), definiremos los elementos fundamentales de su arquitectura, obtendremos los pesos asociados a las variables implicadas y, por medio de un algoritmo de optimización —alguna variante del método del gradiente—, se minimizará la función de coste asociada al problema de interés.

Con el entrenamiento de estas RNA obtendremos la mejor de las soluciones al problema planteado, relacionado con la mecánica de fluidos y el fenómeno de *Sloshing*, comprobando así la validez y calidad de los resultados obtenidos mediante comparación con datos reales.

Desde esta perspectiva, el diseño de una metodología adecuada de entrenamiento de las redes neuronales, para su uso en ordenadores personales, reducirá el coste computacional y el tiempo necesario para la exploración de las diferentes arquitecturas de RNA de interés para cada problema de ingeniería; en este caso, nos centraremos en el campo naval, donde estos estudios no son muy habituales.

Visualización del flujo aerodinámico durante el aterrizaje de un helicóptero en fragata mediante PIV (DESEi+d 2022: 112)

Juan Carlos Matías García, Rafael Bardera Mora y Estela Barroso Barderas

Las maniobras de helicópteros en fragatas militares son operaciones altamente complejas para los pilotos. El entorno aerodinámico alrededor de una fragata se caracteriza por elevados gradientes de velocidad y altos niveles de turbulencia. Además, durante la operación de helicópteros en fragatas, hay que añadir el efecto de su rotor, el cual genera grandes perturbaciones en las velocidades del flujo. En este estudio se utilizan ensayos en túnel de viento del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» para caracterizar el flujo aerodinámico generado por un rotor de helicóptero en el entorno de una fragata. Para ello, sobre modelos de fragata y de rotor a escala 1:100, se capturan imágenes con el sistema PIV (velocimetría por imágenes de partículas) en diferentes posiciones del rotor respecto de la fragata, que permiten visualizar la interacción entre ambos flujos aerodinámicos. Este tipo de estudios buscan mejorar la comprensión del problema aerodinámico buque-aeronave y así ayudar a aumentar la seguridad de las operaciones de aeronaves en buques militares, o permitir idear formas de control de flujo que mejoren las actuaciones del helicóptero operando cerca de la cubierta de la fragata.

Control de la calidad del aire y de la ventilación en buques: caso de estudio sobre predicción de presencia de CO₂ con técnicas de *deep learning* (DESEi+d 2022: 119)

Pedro Carrasco Pena, Miguel Enrique Iglesias Martínez, José Guerra Carmenate, Gerardo González-Cela Echevarría y Pedro Fernández de Córdoba Castellá

En la actualidad, a nivel mundial, se buscan y utilizan estrategias para disminuir la presencia de partículas contaminantes en el aire que sean nocivas para la salud. Ello tributa, por ejemplo, a la disminución del contagio por Covid-19. Por otro lado, con una adecuada ventilación, se busca que las instalaciones no sigan contribuyendo al problema del calentamiento global y que se puedan tomar las acciones adecuadas en la búsqueda de la eficiencia energética, en base a la reducción del consumo energético a través de una ventilación adecuada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha concebido la presente propuesta, cuyo principal objetivo es el monitoreo armónico del sistema de ventilación en buques. El sistema propuesto se construye a través de la integración de información en una plataforma IoT de monitoreo y toma de decisiones, basada en la adquisición de datos de sensores externos y su control remoto mediante tecnologías inalámbricas y de transmisión en la nube, utilizando herramientas de inteligencia artificial para el desarrollo de un modelo predictivo de las variables ambientales que rodean el entorno analizado.

Análisis de respuesta dinámica del sistema de propulsión y planta eléctrica de un buque militar (DESEi+d 2022: 136)

José Luis Ruiz Herrer y Juan Antonio Clemente Fernández

Navantia, una de las principales empresas europeas de construcción naval, ha desarrollado recientemente un modelo de simulación del sistema de propulsión y la planta eléctrica en el proyecto de uno de sus buques utilizando una herramienta de simulación de sistemas para analizar la respuesta dinámica del sistema en su conjunto. El objetivo de este análisis es evaluar el rendimiento de la planta eléctrica y de propulsión del buque en una serie de condiciones de funcionamiento representativas. En particular, el análisis de la respuesta dinámica permite verificar: el comportamiento del sistema en condiciones estacionarias y transitorias de navegación del buque; el rendimiento del sistema en función del modo de propulsión y de la estrategia de control; el funcionamiento seguro de todos los elementos del sistema de acuerdo con sus requisitos operativos; la integración de los distintos subsistemas; la idoneidad del sistema para cumplir todos los requisitos; y el comportamiento del sistema tras un fallo o una situación crítica. El modelo de simulación desarrollado incluye elementos pertenecientes a diferentes sistemas, eléctricos, mecánicos, de control o hidrodinámicos. Por esta razón se pusieron en marcha procedimientos de desarrollo que han permitido a diferentes grupos de personas trabajar con el mismo modelo de simulación de forma óptima, evitando errores de integración y retrabajos. Algunos modelos de subsistemas fueron desarrollados por los proveedores e integrados mediante FMU. La explotación del modelo de simulación se ha llevado a cabo mediante código en Python que automatiza el pre y postproceso de las simulaciones, permitiendo además comprobar la robustez del modelo e identificar errores. El modelo de simulación permite conocer en profundidad el comportamiento dinámico del sistema de propulsión y de la planta eléctrica del buque, lo que ha resultado de gran valor para el proyecto.

Viabilidad de uso de biocombustibles en el ámbito naval (DESEi+d 2022: 172)

Javier Martínez Escondrillas, Javier López Núñez, Manuel del Río González, Ramón Ruiz Orzáez, Claudia Esarte Relanzón, María Dolores Cárdenas Almena y Miguel Méndez Macías

La descarbonización es una tendencia global y el sector marítimo no es ajeno a este cambio. La Organización Marítima Internacional (OMI) estableció en 2018 los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el principal la reducción de CO₂ al 40 % para 2030 y al 70 % para 2050 respecto a 2008. Por otro lado, la UE aprobó el Green Deal, que persigue una reducción de gases de efecto invernadero del 55 % para 2030 y del 100 % para el 2050.

Navantia como empresa tractora y líder en el sector es consciente de estas necesidades y participa activamente en proyectos estratégicos con socios nacionales y europeos para dar soluciones que permitan alcanzar estos objetivos.

En esta publicación se hace una primera revisión de los combustibles alternativos con potencial implantación a corto/medio plazo, tales como combustibles líquidos basados en materia orgánica (biocombustibles) y el GNL (gas natural licuado). Además, se tienen en cuenta requisitos logísticos, infraestructuras, coste del combustible, prestaciones...

Junto con socios tecnológicos como la UPCT y Repsol, se han hecho pruebas en banco de la viabilidad técnica y compatibilidad química para diferentes mezclas de biocombustibles, focalizándose en aquellos desarrollados en los últimos años: biocombustibles de primera generación como el FAME (Fatty Acid Methyl Ester), y los avanzados o de segunda generación como el HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). Estos resultados han sido comparados con el combustible fósil de referencia (gasóleo B).

Finalmente, se han analizado los resultados en cuanto a emisiones locales y globales neutralizadas, prestaciones del motor, coste-oportunidad del combustible y TCO de acuerdo con los costes de modernización de buques, demostrando el potencial de estos biocombustibles a corto-medio plazo para cubrir las necesidades del sector y de la sociedad, tanto para buques de pronta construcción como para la flota actual.

Propulsión compacta en plataformas navales (DESEi+d 2022: 175)

Gustavo Sarmiento, Javier Albarrán, Santiago Sanz, Joseba Bastarrarena, Sonia García y Jon Garate

Las empresas ALCONZA y SUPRASYS han abordado conjuntamente un proyecto de investigación industrial donde se aplica la tecnología superconductor en una máquina eléctrica para propulsión marina. El proyecto ha permitido contrastar los potenciales beneficios del uso de esta tecnología en un sistema de propulsión marina; siendo el escenario base un motor para buque oceanográfico, de la propia empresa ALCONZA.

Para la adecuada consecución de este proyecto, se ha trabajado conjuntamente en la investigación, diseño y desarrollo de un nuevo concepto de motor eléctrico superconductor de accionamiento directo con valores nominales de velocidad 200 rpm y 5 MW de potencia. El principal beneficio buscado ha sido la compacidad, proponiendo inicialmente valores objetivos de reducción volumétrica o másica del 30 %.

Tras un recorrido de dos años y medio, el proyecto ha llegado a un concepto satisfactorio con los objetivos iniciales; integrando eficientemente la superconductividad en las bobinas del rotor, junto con la criogenia y auxiliares relacionados. Se han seleccionado las características más definitorias del motor para que puedan ser contrastadas experimentalmente en un validador físico de mínima expresión. El proyecto finaliza con la construcción y ensayo del mencionado validador.

El presente artículo detalla los resultados más relevantes del proyecto y plantea una continuidad basada en la construcción de una máquina eléctrica a escala real para una plataforma naval.

Experimentos básicos hidrodinámicos de resistencia viscosa para plataformas navales y su propulsión (DESEi+d 2022: 210)

Adelaida García-Magariño, Suthyvann Sor, Alberto Moreda y Celia García

En las plataformas navales, la disminución de resistencia supone un ahorro de combustible y de emisión de contaminantes. De entre las técnicas en estudio actualmente se encuentra la técnica de reducción de resistencia viscosa por inyección de microburbujas en la superficie. Esta técnica se utiliza normalmente en la superficie del casco. No obstante recientemente se ha iniciado una línea de investigación sobre la aplicación de dicha técnica en las hélices que propulsan las plataformas. Como punto de partida se han diseñado unos experimentos básicos hidrodinámicos de laboratorio en los que se pretende reproducir el flujo de cortadura de las palas de las hélices para facilitar el estudio y caracterización de la influencia en la resistencia viscosa de la inyección de microburbujas. El primero de estos experimentos consiste en hacer rotar un cilindro en el interior de un tanque de agua de tal forma que el rango de velocidad tangente en la superficie se corresponda con el rango de velocidades tangente de las hélices. Se ha diseñado y construido una balanza específica para medir el par motor que se transmite al cilindro por la fuerza de resistencia viscosa. Se pretende estudiar la variación del par medido cuando se introduzcan microburbujas en su superficie, así como su influencia con el tamaño y concentración de burbujas. Hasta la fecha, se han construido una serie de cilindros con distintas ranuras para la generación de dichas burbujas. Pese a no haber generado burbujas de momento, se ha encontrado una inestabilidad que parece depender del tipo de ranura. Este trabajo recoge las dificultades encontradas y los principales resultados de estos experimentos incluyendo los estudios sobre la inestabilidad encontrada.

Índices de eficiencia energética IMO en buques de guerra: análisis comparativo de huella de CO₂ (DESEi+d 2022: 223)

Pedro Carrasco Pena, Andrés Suárez García, Jorge Eiras Barca y Gerardo González-Cela Echevarría

El control de la eficiencia energética en los buques mercantes, se impuso tras la entrada en funcionamiento de los sistemas de medición de los índices de eficiencia energética en el diseño (EEDI), el cálculo del índice de eficiencia energética (EEOI), el sistema de gestión de flotas (SEEMP) y, el más reciente, índice EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) que se unirá, de forma obligatoria, a los índices de medición en 2023.

La creciente concienciación del impacto ambiental que tienen las emisiones del tráfico marítimo, también en Armada, hacen que sea necesario, cada vez más, conocer datos objetivos de cómo estamos contaminando, así, en este artículo, se analizan datos de consumo reales que permitan conocer el nivel de eficiencia energética sobre la base de los índices IMO. Estos valores son la base de las propuestas de mejoras que permitan reducir los consumos definiendo elementos tecnológicos y de gestión de flota.

Estudio sobre el estado actual de la hidrodinámica naval (DESEi+d 2022: 236)

Adelaida García-Magariño, Félix Terroba y Manuel González Gallego

La hidrodinámica naval comprende el estudio de muy complejos y variados procesos de la dinámica de fluidos que deben ser tenidos en cuenta en el diseño de nuevas naves. En particular se puede dividir en resistencia al avance, propulsión, maniobrabilidad y comportamiento en la mar. El presente documento tiene por objeto resumir la visión de los autores acerca del estado actual de la hidrodinámica naval, así como de las posibles líneas de evolución, en base a un estudio realizado de los artículos publicados en este campo en los últimos años. Se identifican las principales líneas de investigación y las metas comunes a todas ellas: reducción de consumo de combustible, reducción de la contaminación acústica, incremento de la seguridad e incremento del realismo en los estudios. Asimismo, se analizan la naturaleza de las investigaciones encontrándose que un 15 % de los estudios son de tipo teórico, un 35 % son de tipo experimental y un 60 % son de tipo numérico. Finalmente se concluye resumiendo las principales líneas de investigación de las que participa el ICTS-CEHIPAR (Centro de Experiencias Hidrodinámicas del Pardo) perteneciente al INTA, enmarcadas en el estudio realizado, así como otras posibles líneas de evolución tales como las relacionadas con barcos no tripulados de defensa.

DESE



6.3. Sistemas integrados en plataformas navales



Distribución de sincronización precisa en sistemas navales con múltiples fuentes de reloj (DESEi+d 2022: 30)

Armando Astarloa y Sergio Salas

El sector aeroespacial y de defensa está adoptando de forma masiva la tecnología Ethernet como bus de campo estándar y Backbone de comunicación IT/OT. La unificación de las comunicaciones cableadas con esta tecnología ofrece a estos sistemas críticos interoperabilidad entre diferentes proveedores de subsistemas, baja latencia en la transmisión de datos, un gran ancho de banda y una forma robusta de distribuir una sincronización de tiempo precisa.

En el caso de la distribución de la referencia de tiempo, la concurrencia de diferentes subsistemas de diferentes proveedores y épocas, tal y como ocurre en los buques militares modernos, exige soluciones flexibles y adaptables que soporten diferentes fuentes de referencia de reloj. La disponibilidad de estas fuentes puede variar según la misión y el estado operativo en la misma. Por ejemplo, puede haber disponible una referencia GNSS o osciladores de precisión disciplinados. Adicionalmente, para poder ofrecer la máxima versatilidad para la sincronización de sistemas se demandan soluciones capaces de operar como puente entre protocolos de distribución de tiempo como el NTP y el PTP.

A este conjunto de demandas para la distribución precisa de reloj, se añade la creciente complejidad de la red Ethernet instalada en estos nuevos buques. La distribución de la referencia de reloj y la sincronización puede realizarse a través de Ethernet estándar, de alta disponibilidad (HSR/PRP), determinista (TSN), multi-rate (1/10G) y multi-media (cobre/fibra).

La innovación presentada en este trabajo aborda una solución que da respuesta a estos retos planteados. Se propone una arquitectura genérica para hacer frente a la distribución de tiempo de múltiples fuentes y protocolos, resiliente a los cambios de estado en la misión. Adicionalmente, se presenta un equipo de nueva generación certificado que implementa la arquitectura propuesta y aborda la problemática de combinar la distribución de reloj en Ethernet estándar, de alta disponibilidad y determinista.

Sistema de apoyo naval para la flotilla de submarinos de la Armada en su travesía por el estrecho de Gibraltar mediante el modelado hidrodinámico (DESEi+d 2022: 114)

Santiago Rubén Díaz Portillo

Este proyecto tiene como objetivo elaborar un sistema de apoyo naval para la flotilla de submarinos de la Armada que en su travesía de paso por el estrecho de Gibraltar necesita para la planificación segura y óptima de su cruce en inmersión necesita una previsión fiable de las corrientes marinas que se pudiesen encontrar a las diferentes cotas de profundidad para así y mediante la metodología de la elaboración de indicadores de las condiciones óptimas de interés (ventanas de oportunidad, tiempo de travesía, estrés mecánico, flotabilidad, etc.) y utilizando los valores numéricos resultantes de las salidas del modelo matemático desarrollado por el departamento de física aplicada de la Universidad de Cádiz (corrientes en cada capa y profundidad de la interfaz, a partir de las predicciones hidrodinámicas del modelo UCA2.5D en el Estrecho de Gibraltar). Como resultado y conclusiones finales, se le proporcionará al submarinista las ventanas de oportunidad para el cruce en condiciones óptimas de seguridad, tiempo, deriva por las corrientes y esfuerzo estructural de la plataforma subacuática durante los diferentes tiempos de cruce.

Fabricación aditiva metálica como alternativa a la cadena de suministro tradicional: fabricación de repuestos bajo demanda en buques en alta mar) DESEi+d 2022: 149)

Jesús Rodero, Ramón González-Merino, Elena López-Sánchez, Marta Álvarez-Leal y Pablo E. Romero

Un buque, cuando zarpa rumbo a una misión, debe aprovisionarse de un elevado número de piezas de repuesto. Estas se emplearán para hacer frente a potenciales averías que puedan producirse en los equipos embarcados. Este almacén de componentes supone un espacio, un sobrepeso y un sobrecoste. Si la pieza que falla no está disponible en el almacén, es necesario recurrir a medios aéreos, como un helicóptero, que deberá transportar la pieza desde el puerto más cercano. Más allá del coste, este tipo de envíos requieren varias semanas de espera, durante las cuales el buque puede perder operatividad parcial o totalmente.

La fabricación aditiva metálica puede ser una solución al problema planteado. El almacén físico de repuestos se puede sustituir o completar con un almacén digital. Este contendrá un catálogo completo de los modelos tridimensionales de los componentes que integran los equipos y maquinaria embarcados. Cuando ocurre una avería, el fichero correspondiente a la pieza a sustituir se envía a la impresora 3D metálica de a bordo y se fabrica bajo demanda en pocas horas.

En el presente trabajo, se describe un caso de éxito relativo a la fabricación aditiva de un repuesto de biela para un compresor que trabaja en el sistema de refrigeración de un buque. La biela, diseñada en 3D, se fabricó en acero inoxidable EN 1.4404 (AISI 316L) mediante una impresora MELTIO 450. Finalmente, se digitalizó la pieza impresa mediante un escáner 3D y se llevó a cabo un análisis dimensional comparativo frente a la pieza CAD original. A partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la metodología de fabricación *offshore* propuesta permite: (i) acortar el plazo de entrega del repuesto; (ii) reducir el coste de la pieza un 40 %; (iii) cumplir las tolerancias dimensionales y funcionales.

Desarrollo y fabricación de pala de timón híbrida de una corbeta (DESEi+d 2022: 154)

Juan Diego Rodríguez, Miriam Montenegro, J. A. Toledo Fernández, Francisco J. Abad Fraga y V. Casal

Este proyecto surge de la necesidad del sector de defensa de mejorar la capacidad operativa de los buques. Factores como peso, maniobrabilidad, velocidad y mantenimiento son aspectos clave para nuevos buques de alta tecnología. Como parte del esfuerzo de modernización del sector, surge en Navantia el proyecto 3DSHIP, basado en el uso de la fabricación aditiva polimérica para la producción de piezas de alto valor añadido para nuevas construcciones navales.

El artículo abarcará la descripción técnica de la fase de análisis, en el que se desarrollará el estudio de solicitaciones mecánicas e hidrodinámicas de la pieza original, tomada como base para la definición de la solución final de diseño que se presentará también en el mismo. Seguidamente, detallaremos la estrategia constructiva del diseño híbrido (diseño estructural, estrategia de unión y montaje), compuesto por un núcleo estructural de acero al que se fijarán mecánicamente piezas de material polimérico producidas mediante fabricación aditiva, concretamente ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato), y un recubrimiento completo de fibra de vidrio y carbono como protección. Todos los cálculos, simulaciones, planos constructivos y plan de ensayos serán incluidos en el artículo.

Una vez completada la fase de diseño, se procede a la fabricación del prototipo, empleando los medios del CEFAN (Centro de Excelencia de Fabricación Aditiva de Navantia) para la producción de las piezas poliméricas y las instalaciones de Navantia para la fabricación y montaje del resto de elementos: fabricación del núcleo resistente, ensamblaje de las piezas poliméricas mediante unión mecánica y aplicación de fibra.

Este demostrador a escala real pretende conseguir una mejora significativa en peso (reducción de hasta un 50 % respecto al original) y en actividades de sostenimiento de buques, dada la reducción que supone en cuanto a protección frente a agentes externos. Esto genera una gran ventaja competitiva y operativa frente a las opciones actuales.

Sistema predictivo tierra-embarcado para plataformas navales (DESEi+d 2022: 208)

Pablo Lucas Cánovas, José María Moreu Gamazo, Francisco Lamas López, José María Guerras Algarra, Ginés García Imbernón, Ricardo Carrillo García, Roberto Gómez-Espinosa Martín y Miguel Méndez Macías

El mercado ACV de programas navales es un mercado competitivo donde las nuevas tecnologías 4.0 han irrumpido para quedarse. Este marco ofrece la oportunidad de desarrollar y potenciar capacidades predictivas, integrando iniciativas de análisis de datos, inteligencia artificial, simulación y modelización en los sistemas del buque.

El presente estudio busca desarrollar un sistema predictivo dual tierra-embarcado (MAPRE) para realizar analítica sobre los datos procedentes de activos de plataforma naval, implementando una arquitectura de inteligencia artificial que permita la predicción de averías y disponibilidad de los equipos a corto y largo plazo.

Este estudio describe la mejora de un predictor en tierra (PET) que permitirá el entrenamiento y ejecución de modelos predictivos en el nodo para la detección de comportamientos anómalos y cálculo del tiempo de vida restante del activo y, por consiguiente, del buque. La validación de las mejoras a implementar se basa en el estudio mediante PoCs de un conjunto de herramientas *Open Source* que permitan la automatización y escalabilidad de los procesos actuales, culminando en su integración con la arquitectura definida.

Por ello, existe una necesidad estratégica de posicionarse en la vanguardia tecnológica, apostando por el cambio de paradigma en el mantenimiento clásico preventivo y correctivo para potenciar el mantenimiento basado en la condición y predictivo. Ser la punta de lanza en el sector naval no está exenta de riesgos tecnológicos, sociales y de seguridad que están siendo abordados con los diferentes actores implicados, permitiendo a su vez que la solución propuesta sea adaptable a otros dispositivos y emplazamientos.

DESE



6.4. Vehículo marinos no tripulados



Controlador NMPC para el posicionamiento dinámico de un ROV basado en el filtro UKF (DESEi+d 2022: 27)

José Joaquín Sainz, Elías Revestido Herrero, José Ramón Llata y Francisco J. Velasco

Los vehículos subacuáticos teleoperados (ROV) se emplean actualmente en el ámbito marino para realizar diversas tareas complejas. Especialmente, se han incorporado de una forma significativa en el ámbito militar y de defensa para la realización de operaciones, que pueden suponer un especial riesgo y dificultad en su ejecución. Por tanto, se requiere el máximo control sobre el posicionamiento dinámico de los vehículos.

En este trabajo se expone un control basado en modelo no lineal (NMPC) junto con un filtro *unscented Kalman filter* (UKF) implementados con el objetivo de obtener un control dinámico adecuado de un ROV.

Para ello se han aplicado las técnicas correspondientes al control NMPC. Se ha seleccionado este tipo de control debido a la no linealidad de la dinámica real del vehículo. Se han modelizado las perturbaciones correspondientes al ruido de los sensores en la medición, en forma de ruido blanco gaussiano. Estas perturbaciones se han incorporado a la salida de las señales de los movimientos a controlar. Posteriormente, una vez que se ha completado el sistema de control y la adición de las perturbaciones, se ha implementado un filtro UKF. Dicho filtro está especialmente indicado para sistemas no lineales y, por tanto, es adecuado para su implementación en este tipo de vehículos. Con este filtro UKF se elimina el ruido en la medición, cuyas señales filtradas se realimentan al sistema de control, evitando saturaciones y oscilaciones perjudiciales de las señales de control y en consecuencia de los actuadores. Con ello se consigue un aumento de la seguridad de las operaciones y un incremento de la vida útil de los actuadores del vehículo.

Finalmente, se han realizado una serie de simulaciones para verificar el correcto funcionamiento del controlador y del filtro implementados.

Aterrizaje autónomo de un VTOL-UAS sobre la cubierta de un navío en movimiento. Desafíos para un sistema de guiado, navegación y control óptimo y robusto (DESEi+d 2022: 65)

Miguel Manrique Esteban, José María Pulido Fernández, Iker Camiruaga Gojenola y Miguel Ángel de Frutos Carro

Con el avance y consolidación del sector de los UAS cada vez son más numerosas las misiones en entorno naval en las que su participación adquiere mayor relevancia, aprovechando las ventajas estratégicas y operativas que proporciona el uso de estos sistemas, especialmente en aquellas tareas ISR que implican mayores riesgos o elevada persistencia sobre el objetivo. Sin embargo, la operación en entorno marino presenta retos específicos que deben ser abordados con estrategias propias para una operación eficiente y robusta de estos sistemas. Conseguir un aterrizaje seguro y autónomo en una cubierta de vuelo de un barco en movimiento y en condiciones ambientales no favorables, constituye uno de los retos clave a los que se enfrentan este tipo de operaciones.

En este trabajo se aborda el problema para el caso concreto de un sistema con capacidad de despegue y aterrizaje vertical. En el análisis del caso de estudio propuesto, se identifican dos principales retos por separado: el primero es la obtención de un sistema de guiado, navegación y control que reaccione al movimiento relativo de la cubierta para producir un descenso controlado de la plataforma, evitando colisiones fuera de la envolvente estructural del vehículo; el segundo desafío consiste en el desarrollo de un algoritmo de detección y predicción de periodos de calma en el movimiento de la cubierta (*Quiescent Period*) en los que el movimiento de la misma está acotado por unos límites seguros para la operación, que permita al UAS identificar de forma autónoma el momento óptimo para ejecutar el descenso final sobre la cubierta, aumentando la seguridad y envolvente operacional. Finalmente, se proponen, implementan en un entorno simulado (HIL) y discuten diferentes algoritmos y metodologías que resuelvan, de modo eficiente, ambos retos para su operación en sistemas embebidos en tiempo real y bajo SWaP-C.

Hacia una nueva generación de drones marinos: UUV (unmanned wing-in-ground vehicles) (DESEi+d 2022: 183)

Claudio Rossi y Sergio Domínguez

Cada vez se hace más evidente el protagonismo que los vehículos no tripulados de pequeño tamaño están cobrando en escenarios de enfrentamientos a gran escala. Tanto en modo completamente autónomo o mediante teleoperación, la dificultad para su detección, su versatilidad facilitada por la variedad de cargas de pago que pueden embarcar, así como su bajo coste, los convierte en una herramienta táctica de enorme valor.

Este tipo de vehículos ha experimentado un auge en distintos formatos, dependiendo de los medios por los que consiguen desplazarse. Sin embargo, los *wing-in-ground vehicles* (o *flying ships*), que se desplazan sobre el agua a baja altura y alta velocidad con un consumo muy reducido aprovechando el efecto suelo, todavía no han sido suficientemente estudiados.

En nuestro trabajo, hemos retomado la idea del ekranoplano, desarrollada fundamentalmente por la Marina soviética durante los 70 y 80, y abandonada debido a problemas de control y seguridad, para proponer un nuevo tipo de vehículo autónomo, con desplazamiento a alta velocidad sobre la superficie del agua, alta capacidad de carga y gran autonomía y maniobrabilidad. Los avances en control automático permiten abordar la resolución de los citados problemas.

Estas características hacen de este vehículo una plataforma de altas prestaciones como herramienta táctica en escenarios navales, ya sea para reconocimiento, patrulla, búsqueda y rescate u otras misiones.

Además, pueden despegar y aterrizar sobre el agua sin necesidad de una infraestructura específica, navegar de forma convencional o incluso quedar al paio por tiempo indefinido en caso de necesidad.

En este trabajo se presentan los desarrollos acometidos en la creación de un vehículo de efecto suelo autónomo de pequeño tamaño, completamente eléctrico, preparado igualmente para teleoperación, con desplazamiento de alta velocidad, alta maniobrabilidad, reducido mantenimiento y elevada capacidad de carga y autonomía en comparación con otros vehículos autónomos de su tamaño.

Aplicación de la fotogrametría subacuática en aguas someras mediante vehículos de superficie no tripulados (USV) (DESEi+d 2022: 220)

Iván Puente Luna, Joaquín Martínez Sánchez, Xavier Núñez Nieto, Carlos Casqueiro Placer y A. A. Manuel González Baiges

La importancia de las tareas de reconocimiento y vigilancia (SR) en cualquier operación militar ha sido confirmada a lo largo del tiempo. En el ámbito particular de las operaciones anfibias, son habituales las operaciones de desembarco procedentes de unidades a flote que pueden resultar de apoyo a operaciones que el Ejército de Tierra esté desarrollando o vaya a desarrollar en un futuro inmediato. En este sentido, el empleo de sistemas de mapeado del fondo marino, en las proximidades de la línea de costa, supondría no solo una mayor rapidez de acción, sino también una mayor economía de medios y seguridad. En este trabajo, se utiliza un vehículo de superficie no tripulado (Unmanned Surface Vehicle o USV) de bajo coste, que integra cámara fotográfica y sistema de posicionamiento y cuya finalidad será la elaboración de modelos fotogramétricos subacuáticos a escala que permitan la obtención de información tridimensional precisa y ortoimágenes. La metodología se ensayará en dos casos de estudio distintos, y en base a los resultados obtenidos se estudiarán las posibilidades y limitaciones derivadas de esta técnica.

DESE

Área 7:
Plataformas
aéreas

DESIGN



7.1. Diseño de plataformas aéreas



Fuselaje trasero disruptivo y eficiente para aeronaves de alta velocidad y ala rotatoria de uso dual (DÉSÉi+d 2022: 4)

Juan Manuel Jiménez García

El proyecto RACER (RAPid y Cost Effective Rotorcraft) es la respuesta de Airbus Helicopters a la necesidad de aeronaves de ala rotatoria y de alta velocidad, siendo un demostrador tecnológico con alto carácter innovador que realizará su primer vuelo a finales del 2022, dentro de la iniciativa Europea Clean Sky 2.

El presente trabajo mostrará las características y desarrollos del RACER, como fórmula avanzada de Girodino patentada por Airbus Helicopters. De igual forma se realizará una comparativa con las soluciones de los competidores europeos y el FVL (Future Vertical Lift) de EE. UU. Se hará una introducción a sus principales características sobresalientes en términos de concepto de uso y operativo tanto militar como civil, desempeño de la misión, aerodinámica y estructura. Además, se presentará una descripción general de la composición estructural del fuselaje con un enfoque especial en la disposición estructural básica del componente principal desarrollado en España, el fuselaje trasero.

El fuselaje trasero es un elemento altamente complejo, disruptivo y eficiente que juega un papel clave dentro del RACER, de cara a contribuir a su carácter dual. Este fuselaje incorpora varias patentes y desarrollos innovadores tales como, secciones transversales asimétricas del puro de cola, empenaje doblemente tiltado en «H», es pionero en la inclusión de tecnologías fuera de autoclave (OoA) de grandes dimensiones y complejidad (estructura primaria del empenaje), así como de la integración de la primera estructura primaria de gran licitación estructural de fabricación aditiva metálica que volará en Airbus Helicopters. La descripción de los componentes principales del fuselaje trasero incluirá información sobre los detalles de diseño y producción, así como enfoques de prueba y verificación abordando los retos innovadores ya mencionados.

Sustitución de la flota española de F-18 Hornet mediante una combinación de metodologías de toma de decisiones multicriterio y lógica difusa (DESEi+d 2022: 89)

Juan Miguel Sánchez-Lozano, Mariano Alonso-Larraz y Manuel Fernández-Martínez

En este trabajo abordamos un problema de interés para las Fuerzas Armadas españolas, y en concreto, para el Ejército del Aire (EA), aplicando una combinación de técnicas de decisión multicriterio con lógica difusa. En 1993, la flota de aviones F-18 del EA (EF-18) recibió su última gran actualización, que permitió adaptarlos al estándar F/A-18A/B+, que los colocaba en un nivel de evolución similar a los F/A-18C/D de la Marina de los Estados Unidos. Sin embargo, no se ha propuesto ninguna alternativa para proceder al reemplazo de dicha flota, cuyas primeras unidades se incorporaron al EA en 1986. Con el objeto de evaluar las mejores aeronaves como potenciales sustitutas de los EF-18 para llevar a cabo tareas de vigilancia aérea del espacio aéreo español, contamos con el asesoramiento técnico de un nutrido comité de expertos que nos asesoraron en la selección de las siguientes alternativas: Eurofighter Typhoon, F-35 Lightning II, F/A-18 Super Hornet, Dassault Rafale, F-15 EX y Saab 39 Gripen. También nos ayudaron a elegir los criterios idóneos para evaluar dichas alternativas. El método AHP permitió calcular la importancia de cada criterio a partir de la información proporcionada por los expertos. Los criterios cualitativos «superioridad aérea sobre países vecinos» y «capacidad táctica» fueron los más importantes. Para la evaluación de las aeronaves candidatas, efectuamos una comparativa entre las versiones *fuzzy* de los algoritmos VIKOR y TOPSIS, basados en una distancia a una alternativa ideal. Nuestros resultados indican que el Dassault Rafale es la alternativa más consistente y estable. Tres análisis de sensibilidad respaldan nuestros resultados. El primero involucra un tercer método multicriterio, RIM. El segundo resalta la importancia de la información proporcionada por los expertos para el cálculo de los pesos de los criterios. Finalmente, comprobamos que nuestro estudio es robusto al efecto *rank reversal*.

Estudio experimental de maniobra de rescate en montaña mediante helicóptero (DESEi+d 2022: 132)

Rafael Bardera Mora, Juan Palacios Santos, Juan Carlos Matías García y Ángel A. Rodríguez Sevillano

Los helicópteros, además de otras aeronaves, en presencia cercana del suelo experimentan el llamado «efecto suelo». El efecto suelo en helicópteros consiste en una modificación del tubo de corriente que genera el rotor debido a la presencia del suelo y que induce una mejora de la eficiencia de este. Esto se traduce en que un helicóptero que se encuentra bajo efecto suelo, a igualdad de potencia consumida por el rotor, producirá un empuje mayor que aquel que no se encuentra bajo dicho efecto. El efecto suelo está ampliamente estudiado cuando el suelo carece de inclinación con respecto al plano del rotor.

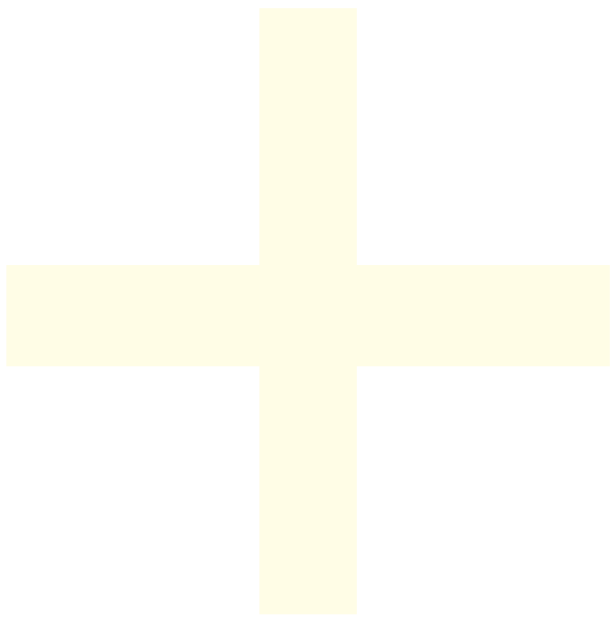
En operaciones de rescate en montaña con helicóptero es habitual que la aeronave se encuentre a escasos metros del suelo, o incluso parcialmente apoyado sobre este, en pendientes con gran inclinación. En la literatura apenas se encuentran referencias a la influencia del ángulo formado entre el plano del rotor y el suelo sobre el efecto suelo y, por tanto, un mayor estudio es necesario.

En el área de aerodinámica experimental del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial se ha diseñado y fabricado una balanza de seis componentes, a la que se le ha ensamblado un modelo de helicóptero a escala 1:100 con rotor y motor eléctrico. En la comunicación de esta edición del DESEi+d, si finalmente es aceptada, se presentará el efecto de la pendiente del suelo sobre las fuerzas y momentos inducidas en el helicóptero en condiciones de efecto suelo.

DESE



7.2. Energía y propulsión



C



Estudio de la rotura de un álabe de la primera etapa de una turbina de alta presión (HPT) de un motor de una aeronave (DESEi+d 2022: 39)

María García-Martínez, Juan Carlos del Hoyo Gordillo, M.^a Pilar Valles González, Ana Pastor Muro y Beatriz González Caballero

En los motores a reacción, casi el 50 % de los fallos se localizan en los álabes y en los discos de las turbinas. Las causas más frecuentes del fallo de los álabes suelen ser la fluencia, la corrosión y la fatiga, de manera aislada o concatenada. Este trabajo recoge el estudio realizado para determinar la causa raíz del fallo de un álabe de turbina de alta presión (HPT) de la primera etapa en un motor turbohélice. El incidente tuvo lugar en pista, sin consecuencias para el resto de la aeronave.

La observación visual de los álabes indicó, inicialmente, que uno de ellos estaba fracturado. El desprendimiento del perfil aerodinámico de dicho álabe y su impacto con los álabes adyacentes del primer disco de la turbina desencadenó un daño catastrófico que afectó al resto de álabes de esa etapa y a los álabes de etapas posteriores. La caracterización química y microestructural determinó que el material de los álabes correspondía a una superaleación base níquel, René 142, con la microestructura típica de este tipo de superaleaciones formada por finos precipitados rectangulares de la fase γ' (Ni_3Al) en una matriz de la fase γ (Ni). También se llevaron a cabo estudios fractográficos mediante microscopía óptica y electrónica, tanto del álabe roto como de los adyacentes. Los caracteres fractográficos observados mostraron que la fractura del álabe roto se produjo por un mecanismo de fatiga. Este se propagó de manera casi perpendicular al eje del álabe, presentando su origen en unas picaduras de corrosión presentes en la superficie de la raíz de dicho álabe, en la cara intradós, debido a las tensiones cíclicas y los gradientes de temperatura, condiciones habituales del funcionamiento de una turbina de alta presión.

Vectorización fluida en toberas (DESEi+d 2022: 72)

Rodrigo Villanueva y Carlos Fernández

Algunos aviones caza de quinta generación tienen toberas avanzadas con capacidad de vectorización mecánica, que permiten orientar el empuje mediante el movimiento de partes sólidas. El US F-22, por ejemplo, orienta las paredes divergentes de la tobera para conseguir un rango de variación de 20° en el empuje. Las principales ventajas son: maniobrabilidad, posibilidad de reducir las superficies de control, furtividad y supervivencia. Sin embargo, la vectorización mecánica es compleja y pesada.

La vectorización fluida es una alternativa prometedora que permitiría enormes mejoras en peso, además de mantenimiento y furtividad, al eliminar partes móviles que pudieran quedar más expuestas al radar. Consiste en inyectar asimétricamente un flujo secundario en la tobera. Esta tecnología se emplea con éxito en motores cohete (SITVC, Secondary Injection Thrust Vector Control). Su uso en aeronaves está en fase de investigación dado que también presenta algunas dificultades: necesidad de un flujo secundario que hay que sangrar del compresor y la dificultad de diseño por la complejidad aerodinámica.

Se presentan las principales técnicas de vectorización fluida que podrían aplicarse en aeronaves: movimiento de garganta (*throat shifting*), onda de choque (*shock vector control*), contraflujo (*counter flow*) y tobera con cavidad recesiva (*recessed cavity nozzle*). Además, se define un parámetro de eficiencia para comparar el ángulo vectorizado por cada porcentaje de flujo secundario. Finalmente, se examinan las principales ventajas e inconvenientes, así como las expectativas de uso en futuros vehículos, principalmente drones.

Diseño, construcción y primeras medidas de una instalación para la caracterización de flujo bifásico en conductos (DESEi+d 2022: 229)

Alejandro López-Belchí y David S. Martínez

Los flujos bifásicos están presentes en gran número de procesos industriales. Debido a las altas tasas de transferencia de calor durante el cambio de fase líquido-vapor, es común encontrarlos en aplicaciones de refrigeración. Algunos ejemplos son de especial interés en electrónica, en particular en situaciones donde se requiere alcanzar altos niveles de refrigeración en poco espacio y con un bajo consumo energético. Este es el caso de los sistemas de aviónica en aeronaves, donde la solución tecnológica más frecuente para su refrigeración son las *heat pipes*. Dichos dispositivos se sirven del cambio de fase para alcanzar conductividades térmicas muy altas, siendo eficientes a la hora de disipar grandes cantidades de calor. A la hora de diseñar y dimensionar este tipo de dispositivos es necesario conocer la naturaleza del flujo en su interior, la fricción del flujo con las paredes y la tasa de transferencia de calor. Este conocimiento solo se puede adquirir a través de instalaciones experimentales diseñadas a tal propósito.

En este trabajo se presenta el diseño, montaje y primeras medidas realizadas en una instalación de caracterización de flujos bifásicos. La instalación se ha diseñado con el objetivo de servir no solo a la investigación, sino también a la docencia, permitiendo realizar varios ensayos sobre flujos bifásicos en conductos de sección reducida. La misma consta de un tubo transparente por el que circula el flujo bifásico de manera controlada, con gasto másico y temperaturas conocidas. En dicho tramo del tubo se puede medir tanto la caída de presión como el patrón de flujo. Para caracterizar el flujo se dispone de una cámara de alta resolución, así como de dos diodos láser. Estos permiten identificar y correlacionar el paso de grupos de burbujas a través de un tren de pulsos, determinando así su velocidad y distribución de burbujas.

Interacción plasma-espray orientada al control activo de la inyección bajo demanda (DESEi+d 2022: 230)

David S. Martínez, Elisa Pescini, Maria Grazia De Giorgi y Vitaliy Sechenyh

El uso de actuadores de plasma frío de barrera de descarga (DBD-PA) en espráis tiene un gran potencial en el campo aeroespacial. El plasma puede jugar un papel importante en la extensión de los límites del control de llama y la inestabilidad acústica de los procesos de combustión. No obstante, pueden darse varios fenómenos a la vez cuando una corriente de plasma frío se encuentra con un espray. A nivel molecular, la rotura de moléculas orgánicas largas en otras más pequeñas y la formación de radicales altamente reactivos. A nivel macroscópico, cambios en la penetración del espray, el ángulo de abertura del mismo, la distribución espacial de las gotas o su velocidad.

El presente trabajo desarrolla un innovador sistema de inyección mediante control activo de las características del espray. El sistema consiste en una boquilla comercial equipada con un DBD-PA. Una posible aplicación de este sistema está relacionada con el uso del plasma en la mejora de la combustión: la literatura demuestra que se estabiliza la llama en mezclas pobres mediante la activación del combustible. Sin embargo, este tipo de observaciones se han hecho basadas en combustibles gaseosos. No existen hasta la fecha datos con combustibles líquidos en espray.

La primera campaña experimental llevada a cabo ha investigado los efectos del DBD-PA en la morfología del espray, dimensión y distribución de las gotas y su velocidad. Se ha empleado agua destilada como fluido de trabajo. El actuador de plasma se alimentó con una señal sinusoidal de alta tensión, caracterizada para evaluar la potencia disipada por el dispositivo. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando las técnicas de retroiluminación difusa y velocimetría por láser *doppler*. Los resultados obtenidos confirman la capacidad del actuador para modificar la distribución espacial de las gotas en el espray.

Estudio de aplicaciones del hidrógeno y los combustibles sostenibles para Ejército del Aire en el entorno operativo 2035+ (DESEi+d 2022: 247)

Pelayo Menéndez Rodríguez

El Ejército del Aire se enfrenta a profundos cambios en las próximas décadas. La preeminencia de los nuevos dominios ciber, electromagnético o cognitivo unida a conceptos como la guerra mosaico, alimentan una revolución que definirá el entorno operacional 2035+. Esta revolución afectará, entre otras cosas, a las plataformas y sistemas que operarán en él. Nuevas necesidades, como la mayor utilización de plataformas aéreas no tripuladas, ya han sido identificadas.

Si bien, en paralelo, el mundo se encuentra inmerso también en un proceso de cambio climático que, en palabras de la OTAN, precisa adaptación y mitigación en el ámbito de la defensa. En este sentido, las energías renovables y los combustibles sostenibles no solo permitirán un menor impacto en el clima sino también una mayor independencia frente a los combustibles fósiles. Así, el sector de la defensa tiene ante sí el requerimiento y a la vez la oportunidad de aprovechar la revolución energética para resolver a su favor las necesidades operativas futuras. En particular, en este artículo se analizará la utilización de hidrógeno y combustibles sostenibles como una oportunidad directa de combinar la mitigación del cambio climático en el futuro entorno operacional del Ejército del Aire.

Se analizan las posibilidades que tienen de forma directa para el Ejército del Aire. Se presentan en detalle ejemplos concretos como los vehículos no tripulados propulsados por hidrógeno o el uso de combustibles sostenibles en las grandes plataformas. Si bien, existen más posibilidades que también se abordan. Se analizan también sus implicaciones en la infraestructura y logística necesaria, clave para el sostenimiento de las operaciones. Por último, se presentan los desafíos que entrañan aún a día de hoy, cuál sería su encaje dentro del entorno operacional 2035+ y las sinergias que generan frente a otras iniciativas aplicables al resto de las Fuerzas Armadas.

DESE



7.3. Aviónica / C4I para sistemas aéreos



Propagación de llamas premezcladas en microcanales estrechos (DESEi+d 2022: 5)

David Rodríguez Gutiérrez, Raquel Gómez Miguel y José Hermida Quesada

En este trabajo se presenta un análisis numérico del comportamiento de llamas que se propagan en canales estrechos semiabiertos, desde el extremo abierto al cerrado.

El canal se llena con una mezcla homogénea combustible-oxidante y se fuerza la ignición incrementando localmente la temperatura de los gases, provocando un proceso de combustión autosostenido. Los gases, inicialmente en reposo, se aceleran hacia el extremo abierto del canal tras quemarse. El movimiento induce la formación de capas límites en las paredes del canal, conformando un frente de llama cóncavo en la dirección de propagación que se adapta a la variación transversal del campo de velocidad del fluido. Las ondas acústicas generadas en el proceso de ignición viajan a lo largo del canal, rebotan contra las paredes y chocan contra el frente de llama, que actúa como un pistón semi-permeable, reflejando parcialmente dichas ondas. Estas ondas pueden permanecer en el canal durante largos periodos de tiempo.

Estas pequeñas perturbaciones inducen la inestabilidad de Darrieus-Landau, inestabilidad intrínseca producida por expansión térmica, que en su interacción con las ondas acústicas desarrolla oscilaciones de pequeña amplitud conocidas como oscilaciones primarias (inestabilidades termoacústicas). Bajo ciertas condiciones, se produce una transición a nuevas oscilaciones de mayor amplitud (oscilaciones secundarias).

Estas inestabilidades, dependiendo de las condiciones, pueden ser amortiguadas o retroalimentadas por el frente de llama llegando a modificar su geometría. Deforma su estructura, pasando de una forma cóncava y simétrica a una forma asimétrica y alargada acelerando el avance del frente de llama.

El objetivo de este trabajo es el estudio de las inestabilidades termoacústicas y los cambios en la estructura del frente de llama bajo distintas condiciones iniciales y de contorno, para identificar y entender los procesos fundamentales que ocurren en una cámara de combustión que permita optimizar su diseño.

SAFETERM: sistema de terminación segura del vuelo (DESEi+d 2022: 21)

Javier Ferrero Micó

El objetivo del proyecto es evaluar y validar los diferentes enfoques tecnológicos y de certificación para la mejora en la autonomía de los RPAS tácticos, con el fin de garantizar un comportamiento predecible y adaptable de la aeronave en caso de emergencia que implique múltiples fallos, incluida la pérdida del enlace de datos del C2 que conduzca a la terminación del vuelo.

En estas situaciones es necesario procesar en tiempo real la información de entorno, para seleccionar zonas de aterrizaje seguro alternativas a las preplanificadas en caso de contingencia.

El sistema SAFETERM mejora los actuales sistemas de terminación de vuelo (FTS) de los RPAS y el concepto general de recuperación de emergencia (ER). Se basa en los estándares actuales:

- E-256 OSED para la automatización de RPAS y la recuperación de emergencia - EUROCAE, marzo de 2019.
- ED-281 MASPS for RPAS Automation & Emergency Recovery - EUROCAE, de próxima aparición.

La arquitectura del sistema se basa en particiones que aíslan los elementos basados en inteligencia artificial en vistas a una posible certificación del sistema. Esta partición, novedosa en este tipo de sistemas embarcables, requiere de una evaluación exhaustiva de las actividades de estandarización y certificación de los sistemas adaptativos (probabilísticos) que actualmente están en pleno desarrollo. El proyecto ha seguido las guías establecidas por las autoridades aeronáuticas de referencia:

- Hoja de ruta de inteligencia artificial de la EASA.
- EUROCAE WG 114 / SAE G 34.

En el proceso, se han estudiado distintas arquitecturas basadas en redes neuronales profundas, enfocadas en el tratamiento de imágenes, y se ha evaluado la realización de inferencias en tiempo real, el impacto de los distintos *hardware* disponibles en el rendimiento del sistema, así como el efecto de distintas fuentes de datos (reales y sintéticos) para el entrenamiento y la capacidad de generalización y robustez del sistema.

Análisis de riesgos asociados al vuelo de sistemas aéreos no tripulados en zonas habitadas (DESEi+d 2022: 61)

Guillermo Jenaro De Mencos, Diego Bueno Pérez, Hugo Leandres Rovira y Antonio Cantero Obregón

Las operaciones militares con sistemas aéreos remotamente tripulados (RPAS) en España se han de ajustar a la normativa en vigor que exige el Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa, y además se han de coordinar por la Sección de Espacio Aéreo del Ejército del Aire (SESPA), encargada de la solicitud de segregación del espacio aéreo.

La exponencial proliferación de usos de estos sistemas, tanto en el ámbito civil como en el militar, han hecho necesarios cambios de regulación que han traído incluso nuevos conceptos como *U-Space*, y asociados a ellos, una necesidad específica de análisis de riesgos en las operaciones, especialmente cuando se realizan en zonas de alta densidad de población.

Diversos autores han propuesto modelos que permiten estimar los riesgos de colisión y de impacto con el terreno para estos sistemas. Estos análisis son necesarios para evaluar las medidas de mitigación que se derivan de la aplicación de las metodologías de seguridad operacional, como la SORA (Specific Operations Risk Assessment) propuesta por JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) o como las propuestas por la EDA (European Defence Agency) o la FAA (Federal Air Administration).

En Europa se ha promulgado una normativa civil específica (Reglamento de ejecución UE 2021/664 de la Comisión del 22 de abril de 2021) sobre RPAS y el *U-Space*, que entrará en vigor en enero de 2023, y que tiene en cuenta la clase de aeronave y el riesgo operacional de vuelo.

En este artículo se propone la aplicación de un análisis de riesgos genérico, que pueda ser aplicado al vuelo de RPAS militares sobre zonas habitadas, para sistemas de distinto tamaño y situación. La información que proporcionan estos análisis se podría usar como evidencia de cumplimiento de determinados requisitos de aeronavegabilidad, si la autoridad competente así lo admitiera.

Determinación de estrategias óptimas de evasión y supervivencia de aviones de sexta generación contra enjambres de drones y misiles hipersónicos mediante redes neuronales artificiales y dispositivos de energía dirigida (DESEi+d 2022: 62)

Fernando Aguirre

La sexta generación de aviación tendrá que enfrentarse a un entorno altamente congestionado de amenazas (enjambres de drones y misiles hipersónicos), requiriendo sistemas antimisiles mucho más avanzados que los actuales, donde las armas de energía dirigida serán cruciales llegando a reemplazar al cañón y los misiles aire-aire en el combate aéreo cercano.

En este trabajo se plantea un algoritmo para el cálculo de estrategias de evasión óptimas aplicando la teoría de control, a partir de las funciones de transferencia del sistema de guiado de las amenazas, transformando las señales al plano de Laplace, y calculando un sistema de ecuaciones diferenciales, el cual puede resolverse y obtener los extremos relativos de la curva de distancia de paso amenaza-avión atacado.

Identificando al agresor con los alertadores de amenazas del avión atacado se pueden presentar dos situaciones. Que se conozcan las constantes de tiempo de su función de transferencia del sistema de guiado, con lo que el sistema de ecuaciones diferenciales puede integrarse numéricamente y calcular la distancia de paso.

Si no se conocen estas constantes de tiempo de la amenaza, con los alertadores de amenaza del avión atacado se obtiene una distancia de paso real a comienzo del vuelo, y mediante una combinación de algoritmos (meméticos y redes neuronales artificiales), comparar la distancia de paso real con la calculada al integrar el sistema de ecuaciones diferenciales, determinando las constantes de tiempo en un proceso de optimización iterativo.

Finalmente, las amenazas hostiles se clasifican en función de su distancia de paso en dos grupos, adoptando el avión atacado estrategias de evasión óptimas que maximicen la distancia de paso contra las amenazas del primer grupo, mientras que aquellas amenazas donde no es posible maximizar la distancia de paso serán interceptadas con los dispositivos de energía dirigida instalados en el avión atacado.

Definición y análisis de un sistema de radiofrecuencia de alta potencia para anulación física de RPAS (DESEi+d 2022: 99)

Javier Cano Fernández y Mateo Burgos Gacia

Este trabajo, se centra en la neutralización de RPAS de tamaño pequeño y mediano, mediante la aplicación de sistemas de radiofrecuencia de alta potencia, (HPM) , como arma de energía dirigida (DEW). Esta es una técnica prometedora pero sobre la que existe muy poca información disponible.

Existen pocos análisis de sistemas HPM, y mucho menos estudios prácticos. Por ello se decidió abordar un estudio experimental enfocado a interferir y anular físicamente (destruir) varios receptores de RPAS. El experimento realizado en condiciones de laboratorio se utiliza para extrapolar los resultados a un entorno operativo real y definir teóricamente un sistema HPM operativo en campo.

Se utilizaron varios receptores típicos de RPAS comerciales, de distintos fabricantes y con distintos protocolos de comunicaciones, aunque todos ellos de tipo espectro ensanchado por Frequency Hopping, el más extendido. Se realizaron en laboratorio pruebas de interferencia (con varias formas de onda) y se encontró que existen diferencias según la marca del receptor.

En las pruebas de anulación física, se interfiere a los receptores con onda continua y pulsada, con el fin de hallar la potencia media y la potencia de pico necesaria para destruirlos. Mediante onda continua se consiguen destruir tres de los cuatro receptores analizados, siendo la potencia media necesaria parecida para los tres. Por otro lado, mediante la generación de onda pulsada no se consigue destruir ningún receptor debido a limitaciones de la instrumentación disponible durante el experimento.

En base a los resultados obtenidos, se define un posible sistema HPM discutiendo su especificación y la tecnología de los subsistemas empleados.

El estudio tiene limitaciones en cuanto a que solo fue posible conseguir neutralizaciones en base a potencia de media y no de pico. Pero aún así tiene bastante valor ya que no existe prácticamente ningún estudio experimental al respecto en la literatura abierta.

Análisis comparativo del torbellino de punta de ala de un MAV con geometría *morphing* (DESEi+d 2022: 135)

Estela Barroso Barderas, Rafael Bardera Mora, Ángel Rodríguez Sevillano y Juan Carlos Matías García

En las últimas décadas el sector de los vehículos aéreos no tripulados (UAV – Unmanned Aerial Vehicles) está siendo uno de los más dinámicos dentro de la industria aeroespacial. Se están diseñando vehículos con distintas geometrías para una multitud de aplicaciones, tanto en el ámbito militar como comercial, siendo clave el diseño de vehículos UAV bioinspirados para mejorar las actuaciones aerodinámicas de los mismos.

El presente comunicado, dedicado a los ensayos experimentales en túnel aerodinámico, muestra un análisis comparativo del torbellino de punta de ala llevado a cabo en un diseño innovador de configuración no convencional basado en una geometría alar adaptativa (configuración *morphing*). Los datos experimentales nos permiten caracterizar el flujo aerodinámico en la estela de dicho vehículo para así, optimizar el diseño y fabricar un demostrador práctico.

Para ello, se presenta un prototipo construido mediante fabricación aditiva del modelo basado en geometría alar adaptativa, desarrollado en colaboración entre el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), así como los resultados experimentales obtenidos con velocimetría por imágenes de partículas (PIV).

Efecto en la precisión en el aterrizaje de paracaídas autónomos de la configuración carga de pago-superficie de la vela (DESEi+d 2022: 138)

Carlos García Flórez, Adrián García Gutiérrez, Deibi López Rodríguez y Diego Domínguez Fernández

Pese a ser uno de los primeros sistemas aeronáuticos, los paracaídas siguen utilizándose hoy en día para multitud de aplicaciones tanto de carácter civil como militar. Su uso más habitual es el lanzamiento no guiado de cargas o bien el despliegue de tropas y personal. El principal problema radica en la precisión en el aterrizaje. En el presente trabajo, se plantea un análisis inicial de las capacidades operacionales que ofrecen los paracaídas para el aterrizaje de precisión de cargas gracias a la incorporación de un sistema de guiado y control autónomo.

Para la realización de las evaluaciones previas a su construcción y ensayo se recurre a un modelo sintético capaz de reproducir fielmente la dinámica real del sistema y los diferentes perfiles de viento en altura. Así, se recurre al uso de un modelo dinámico de 9 grados de libertad (DoF) constituido por: la posición en un sistema de referencia inercial y los ángulos que forman la carga y el paracaídas considerados de forma independiente (en el punto de unión entre ambos se considera un resorte para modelar la resistencia al giro). Para el control se utiliza un PID que actúa sobre cada uno de los frenos situados en el paracaídas, permitiendo dirigir el conjunto lateralmente mediante la actuación asimétrica de los mismos.

El análisis realizado con la ayuda del modelo descrito estudia el efecto que tiene la relación entre carga útil y superficie de paracaídas en la precisión que es posible alcanzar para diferentes condiciones de viento. En base a un experimento de Montecarlo, se determina el error en la precisión del aterrizaje en términos de error circular probable. El estudio estadístico permite así elegir la configuración óptima del sistema y determinar la viabilidad de la propuesta.

Volúmenes finitos. Un método para el análisis aerodinámico de estatorreactores (DESEi+d 2022: 158)

David Fernández Pérez y Antonio Cantero Obregón

Un estatorreactor o *ramjet* es una variante de un motor a reacción que no incluye un compresor rotativo; más bien, usa el movimiento hacia adelante del motor para comprimir el aire entrante.

El método de elemento finito es la técnica dominante de discretización en mecánica estructural. El método de volúmenes finitos no dista demasiado del método anterior, siendo una formulación especial de diferencia finita y empleándose en los códigos de análisis de fluidos.

En el artículo se analiza el flujo de aire a través de un estatorreactor utilizando *software* basado en el método de volúmenes finitos. El objetivo es obtener resultados sobre el comportamiento del fluido al atravesar la geometría. En primer lugar, se diseña la geometría del estatorreactor adaptándola al programa y estableciendo unas dimensiones arbitrarias. A continuación, se establecen las condiciones de operación, las variables y las ecuaciones que van a resolver el problema. Se trata de un flujo compresible supersónico con las ecuaciones de Navier-Stokes y el modelo de turbulencia SST k- ω .

Como resultados se analiza el empuje generado por el *ramjet*, las ondas de choque producidas, el ciclo del estatorreactor y el fenómeno de los diamantes de choque.

La modelización se correlaciona con los datos experimentales disponibles en cuanto a las ondas de choque oblicuas en el cono y el arco de choque en los labios del difusor. Del análisis se obtienen otras conclusiones en cuanto a la velocidad del flujo y las ondas de choque a su paso.

Aerodinámica de estatorreactores: la importancia de la sensibilidad de malla en el tratamiento de análisis numérico (DESEi+d 2022: N.º 159)

David Fernández Pérez y Antonio Cantero Obregón

El método de elemento finito es la técnica de cálculo numérico dominante de discretización en mecánica estructural. El método de volúmenes finitos no dista demasiado del método anterior, siendo una formulación especial de diferencia finita y empleándose en los códigos de análisis de fluidos.

En empleo de *software* para el análisis de fluidos basado en dicho método resulta crucial la consecución de una malla con las suficientes dimensiones y características que permita obtener unos resultados óptimos, pero sin sacrificar demasiado tiempo de cálculo y recursos computacionales. Cuanto más precisas sean las condiciones de contorno y de la malla, más precisa será la solución convergente.

A través del estudio de la aerodinámica de un motor estatorreactor y siguiendo el enfoque descrito anteriormente se obtiene una solución única para la malla propuesta y según los criterios de convergencia que se han establecido. Se debe asegurar que la solución también sea independiente de la resolución de la malla. Es decir, si se cambia el tamaño de la malla, se obtendrán las mismas respuestas.

No verificar esto es una causa común de resultados erróneos en el análisis mediante el *software* de dinámica de fluidos computacional. Además, se originan archivos muy pesados y tiempos de computación excesivos.

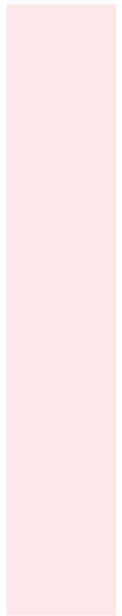
Resistencia no estacionaria en esferas para el estudio de formación de hielo en plataformas aeronáuticas (DESEi+d 2022: 211)

Suthyvann Sor, Adelaida García, Celia García y Alberto Moreda

Las plataformas aéreas civiles, pero especialmente militares, deben ser capaces de operar en condiciones meteorológicas adversas. Para la evaluación de la pérdida de prestaciones que se produce debido a la formación de hielo en su superficie o a la lluvia intensa es necesario contar con modelos de trayectoria de gotas sujetas a los campos de velocidades generados por perfiles aeronáuticos, que son continuamente acelerados y por tanto no estacionarios. El lugar de impacto de las gotas y el tamaño de las mismas influye decisivamente en dicha formación de hielo. Una de las líneas de investigación en el área de aerodinámica experimental del INTA es el desarrollo de dichos modelos, así como su posterior validación. Este trabajo se centra en el estudio de la influencia de la no estacionariedad en la resistencia aerodinámica de las gotas. Para ello se ha diseñado un experimento en el que se lanzan esferas a distintas velocidades, tomándose imágenes de su trayectoria. En particular, se han lanzado pelotas a velocidades de hasta 160 m/s, y se han tomado imágenes hasta 20.000 fps, mediante las cuales se ha medido su trayectoria. Esto nos ha permitido conocer la desaceleración de la esfera debido a la resistencia aerodinámica. Cuando esta desaceleración es elevada, aparecen efectos no estacionarios. Se lanzan esferas con distintas densidades obteniéndose distintas desaceleraciones y por tanto distintas condiciones de no estacionariedad. Se han comparado los resultados obtenidos con la resistencia estacionaria de las esferas, comprobándose que existe una disminución debido a la no estacionariedad. Se presentan los experimentos realizados y sus principales resultados.

Disease

7.4. RPAS





Modelado y control para la suelta y despliegue de «*low-cost-attribable*» UAV desde aeronaves en vuelo (DESEi+d 2022: 55)

Ignacio José Calomarde Heras, Iker Camiruaga Gojenola y Miguel Ángel de Frutos Carro

Los futuros conflictos revelan cambios en el equilibrio del poder militar, que han obligado a poner en marcha innovadores programas cuya prioridad es generar nuevas capacidades tecnológicas y conceptos de operación. En el sector de los UAS podemos encontrar diversas iniciativas tecnológicas que proponen el uso de un gran número de vehículos de tamaño medio, no tripulados, cooperativos, autónomos y de fácil despliegue, recuperación y mantenimiento. Estos vehículos serán reutilizables, pero con ciclos de vida reducidos, de tal manera que se puede asumir su pérdida en una misión, protegiendo activos más valiosos en zonas en disputa. Es por ello que muchos expertos identifican esta nueva clase de UAS con el término «*Attribable UAV*», destacando que la reducción de costes y tiempos de fabricación son su principal diferencia con otros programas.

Este concepto suele venir acompañado de una reducción en el tamaño del vehículo que resulta en un rango operacional limitado cuando es comparado con el de los elementos tripulados del sistema a los que debe complementar en su misión. Fruto de ello nace la necesidad de desplegarlos desde plataformas mayores que los transporten hasta la cercanía del teatro de operaciones, incluyendo sistemas de despliegue aéreo.

Este trabajo aborda, desde la perspectiva de los sistemas GNC, la suelta automática y no propulsada de un vehículo de estas características anclado bajo el ala de otra aeronave, identificando los diferentes retos de la maniobra y las posibles estrategias de diseño.

Tras la identificación de la secuencia de suelta y los sistemas de seguridad necesarios, que incluyen la lógica de activación de los diferentes bucles de control y sus condiciones iniciales, se aborda la determinación del punto de trimado de superficies, teniendo en cuenta los efectos de la aeronave nodriza. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en simulación (HIL) discutiendo las diferentes estrategias planteadas

Automatización de maniobras evasivas no-planares aplicadas a sistemas aéreos no tripulados de altas prestaciones (DESEi+d 2022: 57)

Ignacio José Calomarde Heras, Iker Camiruaga Gojenola y Miguel Ángel de Frutos Carro

Para asegurar el correcto funcionamiento de los, cada vez más, sofisticados sistemas de defensa anti-aérea, estos deben ser validados y sus tripulaciones entrenadas minuciosamente. Una herramienta clave para completar estas dos tareas es el uso de blancos aéreos no tripulados para la emulación de amenazas de forma realista y segura. Una parte importante de estas operaciones consiste en realizar maniobras evasivas agresivas similares a las que realizaría un oponente en un escenario de combate real. Estas acciones evasivas consisten en la combinación de maniobras de alta dinámica para modificar de manera repentina la trayectoria de la aeronave, dificultando su seguimiento mediante sistemas de rastreo o incluso eludiendo posibles amenazas próximas.

Este trabajo aborda, desde la perspectiva del sistema GNC, el diseño, implementación técnica, simulación y validación en un entorno real de operación, de un sistema automático de ejecución de maniobras evasivas realistas, aplicado a su empleo en blancos aéreos. Tras la definición de las leyes de control que gobiernan las diferentes maniobras, se analizan las particularidades de las mismas desde el punto de vista de la navegación, buscando una solución de compromiso entre la maximización de la envolvente de vuelo y la limitación de costes de los sensores impuesta por el destino a destrucción del vehículo. Desde un punto de vista operativo, se propone una implementación basada en máquina de estados que habilita la ejecución secuencial de maniobras concatenadas, así como un análisis de la interfaz de usuario que permite su configuración, planificación y supervisión en tiempo real.

Finalmente, se presenta un caso de estudio de aplicación real, en el que el sistema de control de vuelo anterior, se combina con un sistema de detección de amenazas y replanificación de la misión embarcada, habilitando a la plataforma final la ejecución automática y autónoma de maniobras evasivas ante amenazas no planificadas.

DESE



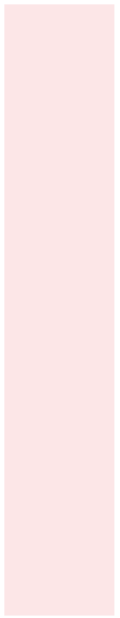
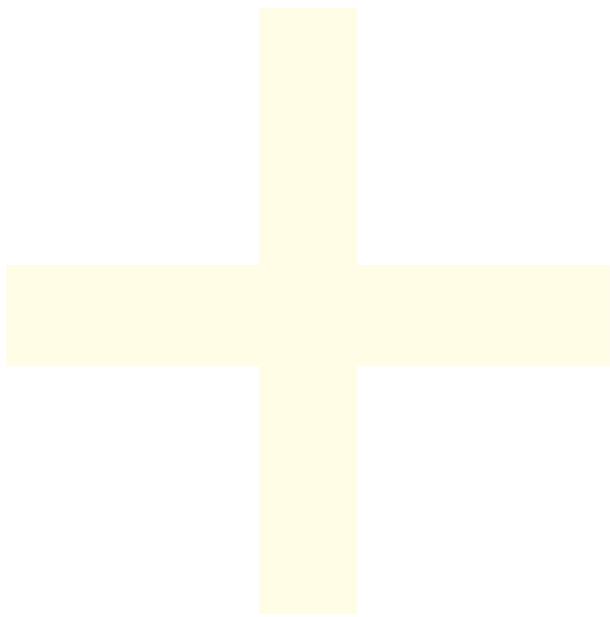
Área 8: Sistemas espaciales



DESE



8.1. Segmento espacio





Space situational awareness: el caso de UPMSAT-2 (DESEi+d 2022: 52)

Pablo Zapatero Montaña, Andrés García, Javier Cubas y Gustavo Alonso

La seguridad de las economías, las sociedades y los ciudadanos europeos se basan en aplicaciones basadas en el espacio, como la comunicación, la navegación y la observación. Pero el espacio es cada vez más accesible, y una consecuencia no deseada es la proliferación de desechos espaciales. Los riesgos vinculados a la basura espacial (generada accidental o deliberadamente) seguirán aumentando, con cada vez más lanzamientos y satélites, y la multiplicación exponencial tras cada colisión.

El Space Surveillance and Tracking (SST) Support Framework fue establecido por la Unión Europea en 2014. Un sistema SST es una red de sensores terrestres y espaciales capaces de inspeccionar y rastrear objetos espaciales, junto con capacidades de procesamiento destinadas a proporcionar datos, información y servicios sobre objetos espaciales que orbitan alrededor de la Tierra. Los servicios SST evalúan el riesgo de colisiones en órbita y el reingreso incontrolado de desechos espaciales a la atmósfera terrestre, y detectan y caracterizan las fragmentaciones en órbita, proporcionando informes sobre eventos de prevención de colisiones para todos los satélites registrados.

UPMSat-2 es un satélite desarrollado por estudiantes y profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, lanzado el 2 de septiembre de 2020, con propósitos educativos y de demostración en órbita. Desde entonces, ha habido muchas ocasiones en las que UPMSat-2 ha estado a punto de chocar con basura espacial, pero también con otros satélites activos.

Esta ponencia demuestra con datos de un caso real, cómo el riesgo de colisión en el espacio está aumentando rápidamente, y afecta no solo a las grandes infraestructuras espaciales o a los activos espaciales críticos, sino también a los pequeños satélites. Los resultados del análisis de los eventos de prevención de colisiones de UPMSat-2 se muestran para ilustrar el peligro grave y real que los desechos espaciales se han convertido para todos.

Radar cuántico para la detección de *space debris* en órbitas LEO (DESEi+d 2022: 128)

Isabel Carnoto, Luis Enrique García, Pablo Fajardo y Juan Francisco Cabrero

Este artículo presenta las bases teóricas que se utilizarán para desarrollar un emulador de un radar cuántico para la detección de *space debris* en órbitas LEO. Estos objetos, que en algún momento formaron parte de una nave espacial, ya no cumplen una función y representan un grave riesgo para los satélites activos. Agencias espaciales están tomando medidas para tratar de contener estos problemas utilizando radares en tierra, telescopios ópticos y sistemas láser para intentar detectar objetos con un tamaño mayor a 5-10 cm en órbitas LEO. Se introducen también los conceptos de radar clásico monoestático y de radar cuántico basado en la propiedad de entrelazamiento. El objetivo es emular este último para así evaluar sus prestaciones, ya que existe una gran esperanza en que las propiedades de los fotones entrelazados permitirán sobrepasar el límite clásico de rango y resolución. Aunque se ha vuelto claro que los estados entrelazados son muy frágiles y podrían fácilmente ser destruidos al propagarse hacia el blanco y de vuelta, existe el concepto de *quantum illumination*, el cual mantiene la creencia de que a pesar de que el estado entrelazado se destruya, aún queda una cierta dependencia mutua llamada correlación cuántica, la cual permite extraer información sobre el blanco que refleja la señal. Por último, se comentan el diseño del radar cuántico que se emulará, definiendo el transmisor, canal y receptor, y las conclusiones.

DESE



8.2. Segmento terreno





La estación láser del Real Instituto y Observatorio de la Armada (DESEi+d 2022: 31)

Manuel Ángel Sánchez Piedra, Manuel Catalán Morollón, Ángel Vera Herrera, Jesús Marín Montín, Manuel Larrán Román, Jesús Relinque Madroñal y David Rodríguez Collantes

El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) trabaja en geodesia por satélite desde los primeros tiempos de la era espacial, labor iniciada con la instalación de la cámara Baker-Nunn en 1958. A esta técnica le siguió, diez años después, la telemetría láser con una estación de primera generación operada por científicos del Centro de Investigación en Geodesia Espacial francés (CERGA). En 1980, comenzó a ser operada de forma exclusiva por personal del ROA. Desde ese momento ha sido sometida a constantes actualizaciones para mantenerla en un alto grado de operatividad.

En 2017, la estación experimentó importantes mejoras como consecuencia de la incorporación de dos nuevos láseres. Uno con precisiones centimétricas y que permite continuar con las tareas de seguimiento dentro del ámbito geodésico. Y un segundo equipo que ha abierto la posibilidad de desarrollar un nuevo campo de trabajo en el ROA, el seguimiento de basura espacial. Esto convierte a la estación láser en una de las pocas a nivel internacional capacitadas para realizar ambos tipos de seguimientos.

Aunque los bancos láser son equipos de última generación, no sucede lo mismo con la montura del telescopio, ni con la electrónica que controla su movimiento. Ello supone una limitación muy clara al rendimiento de la estación por la obsolescencia de los componentes, y por las deficiencias en los mecanismos de apuntamiento. En 2022, el ROA se ha embarcado en un nuevo proyecto cuyo objetivo es dotar a la estación de un conjunto montura-electrónica que permita incrementar el rendimiento observacional de la estación, así como mejorar su resolución angular.

La consecución de este objetivo, permitirá incrementar sensiblemente el peso de la aportación de este sensor del Ministerio de Defensa al Sistema de vigilancia espacial español (S3T), así como aumentar la contribución española en otras redes de seguimiento internacionales (EUROLAS, ILRS).

Satshield-Project, Think-Tank para el análisis, definición de alcance, riesgos, y propuesta para seguimiento y eliminación de micro desechos espaciales (DESEi+d 2022: 67)

Coronel Dr. Jaime Luis Sánchez Mayorga, Teniente David Alarcón Matencio, Dr. Jose Luis Roca González y Dr. Juan Antonio Vera López

En plena expansión del aprovechamiento del horizonte orbital, donde en la actualidad se pueden contabilizar cerca de 8.000 satélites artificiales, destinados tanto a servicios de telecomunicaciones, observación astronómica, meteorología, defensa y seguridad, entre otros. Sin embargo, los desechos ocasionados como consecuencia de la actividad aeroespacial (*debris*) han alcanzado una preocupante proyección en los escenarios predictivos, hasta el punto de que deben ser considerados como una tarea urgente de estudio para su erradicación o minimización y garantizar el correcto aprovechamiento del espacio previsto.

El objeto de esta comunicación es ofrecer la revisión tanto del alcance de la amenaza que estos residuos representan, así como de las técnicas actuales y proyectos, todavía no funcionales, que pretenden reciclar los elementos provenientes de basura espacial para poner de manifiesto que en la actualidad el 90 % de estos residuos son partículas de diámetro inferior a 10 cm (micro *debris*) y aun siendo elementos que pueden ocasionar serias consecuencias en las misiones espaciales, no están siendo observados, seguidos, catalogados ni reciclados. Existen no obstante medios de observación y seguimiento, tanto desde estaciones fijas en tierra como a través de sistemas embarcados en satélites y en la propia ISS, pero con limitación a seguimiento de elementos artificiales en órbita con un tamaño mayor de 10 cm de diámetro.

Como objetivo secundario, esta comunicación persigue promover bajo un carácter multidisciplinar el concepto definido como «*SatShield*», por medio de la creación de un «*Think Tank*» donde se desarrollan actividades dentro del marco teórico y de investigación escalonada para en primer lugar, explorar la detección de micro *debris* en órbitas cercanas a la Tierra, utilizando para ello sensores a bordo de micro satélites basados en la tecnología *cubesat* y en último lugar para desarrollar la posibilidad de utilizar microsátélites que contribuyan de manera parcial o total el reciclaje de estos desechos.

Mejoras en la precisión y estabilidad de los datos para búsqueda de satélites y basura espacial (DESEi+d 2022: 111)

Pedro Azorín, Daniel Casanova y Lluís Canals

El campo de Space Surveillance and Tracking (SST) es de interés para la defensa nacional, quedando patente en la Estrategia de Seguridad Nacional. El Ministerio de Defensa está activo en dicho campo con una red de sensores y el Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial.

Cada vez es mayor el número de objetos en órbita, con lo que es necesario realizar observaciones de búsquedas en gran campo. La precisión y fiabilidad de los datos aportados por estas observaciones son de importancia, para poder incluir los objetos detectados en las bases de datos y poder comandar seguimientos para calcular órbitas precisas. Este tipo de observaciones presentan dos problemas.

El primer problema, la inestabilidad en lo referente a la precisión de las medidas, que puede aportar el campo ancho con los sistemas tradicionales para transformar las coordenadas planas en celestes. Para conseguir mejorar dicha estabilidad y detectar de forma automática posibles variaciones en la precisión de las medidas se propone el uso de patrones de distorsión como una herramienta que pase a formar parte dentro del proceso de reducción astrométrica. Esta herramienta aporta mejor conocimiento del sensor, aumento de la precisión de las medidas y aumento de la estabilidad en lo referente a los residuos (diferencia entre posición calculada y real).

El segundo problema se presenta por realizar un tipo de observación donde la imagen es de larga exposición, esto provoca que la imagen contenga señales con simetría radial y señales bidimensionales (trazas). Para el caso de las trazas, se propone el uso de la función Tepui, que representa de forma ideal la distribución de luz contenida en una traza. La novedad de esta función son los parámetros de ajuste y su uso con trazas oblicuas. El aporte de esta herramienta es mejorar la determinación del momento preciso de la observación.

Determinación de órbita de basura espacial mediante la fusión de medidas ópticas, radar y láser (DESEi+d 2022: 155)

Manuel Ángel Sánchez Piedra, Manuel Sanjurjo Rivo y Manuel Catalán Morollón

La proliferación de basura espacial pone en riesgo la continuidad de las misiones espaciales y supone un serio reto a superar. El número de objetos clasificados como basura espacial está aumentando rápidamente, especialmente en regiones de alto interés por su explotación comercial o científica (LEO y GEO). Debido al alto valor añadido de estas regiones la catalogación, y más concretamente, la determinación de órbita de objetos de basura espacial se ha convertido en un tema de gran importancia y creciente interés.

Esta comunicación presenta el Plan Inicial de Investigación del doctorado titulado «Determinación de órbita de objetos de basura espacial a partir de la fusión de la información obtenida por diferentes sensores», englobado en el Programa de Doctorado de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Carlos III de Madrid. El objetivo principal de este estudio es analizar los beneficios de fusionar distancias láser, observaciones radar y mediciones angulares en un mismo proceso de determinación de órbita.

Durante el desarrollo de la tesis se utilizarán datos procedentes de diferentes sensores para su explotación científica: a) medidas láser de estaciones pertenecientes a ILRS, b) medidas angulares del telescopio TFRM y c) observaciones del radar S3TSR. Con el uso de estas medidas reales se pretende mostrar cómo afecta a los resultados la geometría sensor-objeto observado, la precisión de los sensores utilizados, el número de observaciones y la longitud de arco observada entre otros factores. Asimismo, se pretende investigar los diferentes algoritmos y métodos que producen una más adecuada determinación orbital y explorar técnicas que permitan aplicar correcciones en tiempo real sobre las órbitas analizadas.

DESE



8.4. Sistemas complementarios





Retos futuros en la vigilancia y seguimiento de objetos espaciales (DESEi+d 2022: 241)

Manuel Sanjurjo Rivo, Guillermo Escribano, Yannick Sztamfater García, Javier López-Santiago, Manuel Vázquez-López, Joaquín Míguez Arenas, Alejandro Pastor-Rodríguez, Alejandro Cano, Diego Escobar y Alberto Águeda

El número de objetos en órbita terrestre ha aumentado de manera sostenida desde el inicio de la era espacial. Este aumento es debido a la presencia de un mayor número de satélites operativos en órbita, necesarios para la provisión de servicios, y a la existencia de una creciente población de objetos calificados como basura espacial (es decir, satélites que han dejado de ser operativos, etapas de lanzadores o fragmentos de los mismos). En los últimos años, esta tendencia se ha visto acentuada fundamentalmente por los despliegues de mega-constelaciones en órbita baja. Este nuevo escenario tendrá una repercusión muy relevante en el aumento del tráfico espacial y en la necesidad de realizar un seguimiento exhaustivo de estos objetos para evitar colisiones y monitorizar las re-entradas en la atmósfera de los mismos.

La presente comunicación revisa los retos que este nuevo entorno supone para la vigilancia y seguimiento de objetos en el espacio (SST en sus siglas en inglés), desde el punto de vista del procesado de datos necesario para la detección y catalogación de los objetos residentes en el espacio. No se abordan los aspectos relacionados con los sensores de manera detallada. Por ello, se presentará el estado del arte en los siguientes campos: 1) adecuada cuantificación y propagación de la incertidumbre en el estado dinámico de los objetos espaciales; 2) detección y seguimiento de objetos espaciales con capacidad de maniobra, tanto de bajo como de alto empuje; 3) mejora en el cálculo de la probabilidad de colisión y cuantificación del riesgo; y 4) mejora en la catalogación de objetos en constelaciones y basura espacial. En esta comunicación, finalmente, se revisarán las últimas contribuciones de los autores en los campos referidos.

DESE

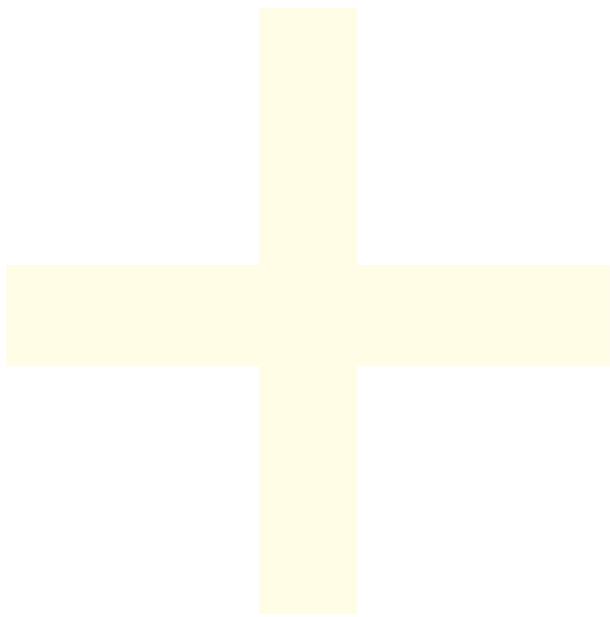
Área 9:
Combatiente



DESE



9.1. Sistema combatiente





Hoja de ruta para el desarrollo de exoesqueletos militares (DESEi+d 2022: 8)

Juantxu Martín y Carlos Fernández

En la actualidad se están produciendo cambios muy rápidos en todo el mundo militar, pero los soldados seguirán siendo los componentes más elementales e importantes en las guerras futuras. En el campo de batalla del futuro, los soldados deberán ser cada vez más móviles, estar mejor protegidos y además dependerán en gran medida de la información. Además, el soldado necesitará estar conectado en tiempo real con otros miembros de su unidad, e incluso con otros equipos, como drones, vehículos autónomos, etc. Es de esperar que los exoesqueletos ayuden a hacer más rápidos y más fuertes a los soldados, y más soportables las tareas de transporte y manejo de cargas pesadas. No obstante, aún hay numerosos retos técnicos que deben ser resueltos hasta lograr una perfecta simbiosis entre la persona y el exoesqueleto.

Este trabajo presenta la primeras conclusiones del proyecto COINCIDENTE 2021 «Exoesqueleto de combate semiactivo, modular y ligero (GUDEX)», expediente n.º 2021/0183E, orientado al desarrollo de un exoesqueleto para el Ejército español con prestaciones avanzadas sobre los sistemas disponibles en la actualidad. Para ello: (i) se ha realizado una exhaustiva revisión del estado del arte sobre exoesqueletos militares, tanto activos como pasivos; (ii) se han validado los requerimientos de usuario (en colaboración con la BRIPAC) y se han identificado las tareas principales a realizar para proceder a su análisis biomecánico; y fruto de ello (iii) se han definido el cuaderno de cargas del exoesqueleto GUDEX y el diseño conceptual del mismo, así como una posible hoja de ruta para resolver los principales retos técnicos a los que debe dar respuesta la tecnología para lograr un avance sustancial en la integración hombre-máquina en los exoesqueletos del futuro.

Sistemas de protección personal avanzados mediante impresión 3D basados en estructuras auxéticas (DESEi+d 2022: 15)

Luis Ignacio Suárez Ríos

Los materiales auxéticos son aquellos con coeficiente de Poisson negativo, que exhiben excelentes propiedades de absorción de energía. Es posible reproducir estructuras con comportamiento auxético en un material dado, lo que puede ser explotado en aplicaciones de blindajes personales para combatientes. En el marco del proyecto COINCIDENTE «IMPACT» se está explorando y estudiando esta posibilidad, sustituyendo las placas de blindaje convencionales por alternativas producidas mediante fabricación aditiva (impresión 3D) mediante tecnología de fusión láser de cama de polvo en materiales aluminio y titanio. Varios diseños tipo celosías, con propiedades auxéticas inducidas, se están diseñando e implementando, así como sometiendo a pruebas empíricas de impacto y posterior comparativa con los sistemas actuales, con el objetivo de analizar su interés y viabilidad de uso práctico. Los avances en dicho proyecto serán expuestos en la presentación.

Desarrollo e implementación de una red de sensores distribuida de bajo consumo y de área extensa (LPWAN) para el Internet de las cosas del campo de batalla (IOBT) (DESEi+d 2022: 63)

Jesús Aparicio Oliver, Martín Díaz Cuesta, Ramón Sánchez Aldehuela, Félix Hernanz Beltrán, Desiderio Mencía González, Eduardo Muñoz Martín y Marta Blanco Caamaño

En este proyecto se ha diseñado e implementado, mediante una metodología ágil de desarrollo de proyecto, un prototipo de red distribuida de sensores altamente escalable de bajo coste integrable en las redes de combate, con el objeto de fabricar dispositivos sensores para los combatientes de muy bajo consumo y muy largo alcance. El Centro de Pruebas y Validación del ET (CEPRUVAL) de la JCISAT impulsa en colaboración con la universidad y la industria este proyecto enmarcado dentro de la iniciativa del Ejército 2035 y en línea con el programa del combatiente a pie (SISCAP), coincidente con la sensorización de la nueva base logística del Ejército de Tierra (BLET).

Se ha realizado un sistema funcional de sensorización con protocolos privados y en proceso de patente, que hacen que tenga muy poco consumo y lleguen a gran distancia, que ha superado con resultados positivos las pruebas de validación técnica. La solución está diseñada con dispositivos *Endpoint* que procesan y transmiten a un *Gateway* la información y de un sistema de *Edge Computing*. El sistema dispone de un gestor de comunicaciones que inyecta la información en una base de datos relacional accesible mediante API REST, así como un frontal *DashBoard* y GIS. El sistema se extiende de forma segura mediante un módulo de comunicaciones hacia *Cloud* basado en publicación/subscripción, interoperable con los sistemas de información del ET.

El proyecto ha cubierto los objetivos de estudio identificados en el Panel de Tecnología de Sistemas de Información (IST) núm. 176 de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN (STO):

- Examinar los estándares y STANAG de IoT existentes y mejores prácticas en la misión federada de la OTAN (FMN).
- Identificar desafíos de seguridad y desarrollar estrategias de mitigación.
- Experimentar la integración de IoT civil en sistemas C2 militares.

Comportamiento balístico de simulante de tejido óseo fabricado mediante impresión 3D (DESEi+d 2022: 169)

José A. Loya, Miguel Marco Esteban, M. Henar Miguélez, Samuel Gómez Martínez y Diego Infante García

Los simulantes de tejido humano, ya sean tejido óseo o blando, son ampliamente utilizados en diferentes ramas de la ciencia, desde la medicina, donde se emplean como materiales de entrenamiento y aprendizaje en imagen médica y cirugía, hasta las ciencias forenses, donde permiten analizar los efectos ocasionados por un determinado proyectil.

Actualmente, se están desarrollando protecciones personales, como cascos tácticos y chalecos antibala que incluyen modelos de cabeza y torso capaces de integrar la respuesta biomecánica de la parte del cuerpo a proteger.

Para el tejido blando, se suele utilizar gelatina balística, mientras que existen simulantes comerciales calibrados para el tejido óseo. Las geometrías disponibles son limitadas, siendo cilindra para hueso largo en extremidades, plana para escapula y esférica para cráneo. Sin embargo, existen limitaciones en caso de querer analizar una geometría concreta, más compleja y realista, como podría ser una caja torácica para estudiar el comportamiento de un torso protegido por chaleco antibalas ante un impacto balístico.

En este trabajo, se ha abordado el comportamiento balístico de simulante de hueso impreso en 3D desde el punto de vista experimental y numérico. Para ello, se ha analizado experimentalmente el comportamiento ante impacto balístico de esfera de 7,5 mm de probetas comerciales de simulante óseo. Posteriormente, se han impreso probetas de ácido poliláctico, ajustando los parámetros de fabricación adecuados hasta conseguir un límite balístico semejante al proporcionado por los simulantes comerciales.

A su vez, empleando el código comercial de elementos finitos ABAQUS/Explicit, se han desarrollado modelos de comportamiento calibrados ante este tipo de impacto. Mediante la combinación con técnicas de imagen médica, se han podido diseñar, fabricar y ensayar ante impacto sistemas óseos más complejos, como una caja torácica realista embebida en gelatina balística, simulante habitual del tejido blando. La capacidad predictiva del modelo numérico ha sido comparada satisfactoriamente con resultados experimentales.

Mejora de la capacidad hidrofugante del traje mimético de la Infantería de Marina de la Armada mediante el uso de nanohidrófugos y microtexturización láser (DESEi+d 2022: 173)

Jorge Feijoo, Jesús del Val, Miguel Ángel Álvarez Feijoo, Elena Arce y Andrés Suarez García

El uso de la nanotecnología para dotar a los materiales existentes de nuevas propiedades es algo que está en auge. En el ámbito textil existen numerosas aplicaciones, tanto físicas como químicas, que permiten, a través de la nanotecnología, dotar a las fibras de diferentes propiedades tales como propiedades hidrófugas, autolimpiantes, bactericidas, ignífugas o de aislamiento térmico entre otras muchas. En este trabajo se evalúa la posibilidad de mejora de la capacidad hidrófuga del uniforme de Infantería de Marina, que actualmente es nula pese a que una de las principales tareas de un infante es la realización de operaciones anfibas donde se llevan a cabo desembarcos y por tanto donde existe el riesgo de hipotermia al llevar a cabo misiones en ambientes húmedos durante periodos de tiempo prolongados. Para ello, se pretende ocasionar cambios en la microrugosidad superficial del tejido, tanto por vía química (mediante recubrimientos superficiales) como por vía física (mediante texturizado superficial). En concreto, se evalúan cuatro recubrimientos nanohidrofugantes de diferente composición (con una y tres aplicaciones) y cuatro tratamientos de texturizado mediante distintos tipos de láser que permiten trabajar a diferentes longitudes de onda (desde 360 a 10.600 nm) con anchos de pulso distintos (desde picosegundos a milisegundos), haciendo un barrido tanto de potencias como de frecuencias. La eficacia de cada uno de los tratamientos se determinó mediante un control del ángulo de contacto estático y de microscopía electrónica de barrido. Además, se evaluó la durabilidad de aquellos tratamientos más eficaces frente a ensayos de alteración acelerados (sales solubles, choque térmico y hielo-deshielo). Los resultados obtenidos demostraron una mayor eficacia por parte de los tratamientos químicos, los cuales permitieron incrementar la hidrofobicidad del uniforme y mantenerla en condiciones extremas. Los tratamientos físicos quedaron desaconsejados ya que no consiguen hidrofugar la tela y llegan incluso a dañarla.

Respirador mecánico robusto, y de fabricación fácil y rápida para entornos de emergencias (DESEi+d 2022: 192)

María Mengual Mesa, Marcos Rollón Rivas, Carlos Pérez del Pulgar, Ignacio Díaz de Tuesta Revilla y Víctor F. Muñoz Martínez

Durante la crisis sanitaria producida por la Covid-19, se desarrolló un respirador artificial con capacidad para ventilar a pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), principal afección de los pacientes graves que padecen dicha enfermedad.

El éxito del desarrollo y la rapidez con la que hubo disponible un equipo funcional y autorizado para su uso fue debido a que desde el primer momento se trabajaba de forma coordinada entre el equipo médico, el equipo de ingeniería y el equipo de asesoramiento regulatorio, implementando únicamente los elementos que permitían el manejo de pacientes con SDRA, con parámetros ventilatorios específicos, y los requisitos regulatorios.

Se obtuvo un equipo que permitía ventilación mandatoria con presión control, pudiendo modificarse los parámetros de frecuencia respiratoria, PEEP, ratio I:E y la presión pico. A nivel de seguridad del paciente, el equipo cuenta con un sistema de evacuación de sobrepresión electrónico y un segundo sistema de seguridad mecánico que evita la entrada de gas a una presión demasiado elevada en los pulmones y con un sistema de alarmas por baja y elevada presión, así como por mal funcionamiento de los sensores. También incorpora un sistema de alimentación ininterrumpida.

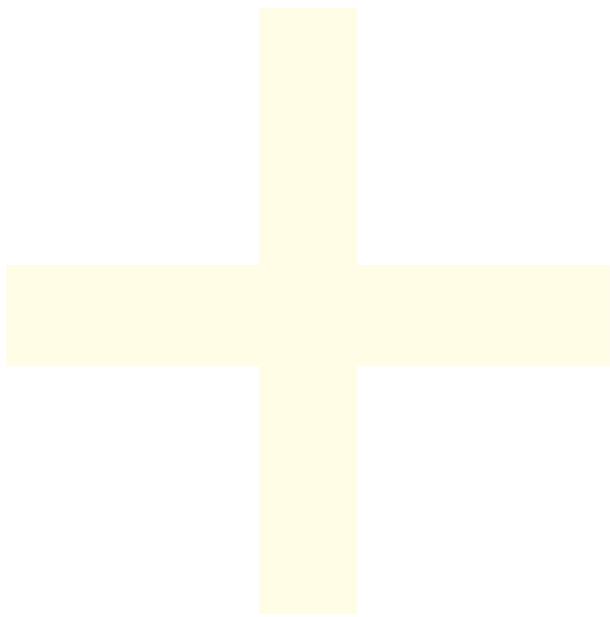
Durante el desarrollo del equipo y para asegurar el correcto funcionamiento, se realizaron evaluaciones del funcionamiento *in vitro*, en animal y con pacientes en estado crítico, así como evaluaciones de seguridad y compatibilidad electromagnética por una consultora externa, así como una prueba de funcionalidad a diferentes altitudes simulado en una cámara hipobárica. El resultado de todos los ensayos fue satisfactorio y confirmaron el correcto funcionamiento del equipo.

Actualmente se está trabajando en un segundo equipo con mayores prestaciones, que permite aumentar los modos ventilatorios, incluyendo la ventilación espontánea y la ventilación mandatoria intermitente, y los modos de control por presión y por volumen.

DISEASE



9.2. Factores humanos





Sistema de experimentación en simulación inmersiva para integración de acciones en el ámbito del estudio de factores humanos (DESEi+d 2022: 66)

Louis Galván, José Luis Roca-González y Juan Antonio Vera López

Las tecnologías de experimentación en el ámbito de simulación inmersiva permiten desarrollar las bases de experimentación del estudio de factores humanos desde perspectivas multidisciplinares y multifactoriales. La configuración modular de estos sistemas posibilita integrar líneas de trabajo distintas que bajo una misma plataforma de emulación confluyan hacia resultados incrementales en el registro, estudio y análisis de los datos generados en cada experiencia inmersiva.

El objetivo fundamental de esta comunicación se centra en la exposición del caso de estudio desarrollado en el Centro Universitario de la Defensa en la Academia General del Aire, donde se han integrado satisfactoriamente dos líneas de experimentación distintas, siendo adicionalmente objeto de esta publicación el resumen correspondiente a la determinación de la carga de trabajo por medio del modelado «MWA-IT». La plataforma de ensayo ha sido desarrollada en el Laboratorio de Proyectos, Estudios, Modelado Digital y Simulación Inmersiva (LAB-PEMSI) de dicho centro.

Los resultados obtenidos posibilitan por un lado la experimentación en la implantación de metodologías avanzadas de comunicación *hombre-máquina* y la determinación de parámetros predictivos de carga de trabajo poniendo de relieve la necesidad de desarrollar escenarios de máxima capacidad realista bajo parámetros de control que han de servir al propósito de dicha experimentación, abriendo nuevas líneas de interés en el ámbito de la seguridad y defensa donde la configuración de estos escenarios requiere de una colaboración multidimensional entre los agentes involucrados y donde se pone de relieve la importancia del conocimiento ontológico adquirido en la fase operativa para ser integrada en futuros procesos de aprendizaje dentro de estos ámbitos.

El efecto de la siesta estratégica tras guardias de 24 horas: un estudio experimental en conducción simulada (DESEi+d 2022: 219)

Irene Blázquez Soro, Francesco Angioi, Marcelo A. Costa Fernandes, Leandro L. Di Stasi y Carolina Díaz-Piedra

En entornos con altas exigencias de seguridad, la privación de sueño tiene efectos deletéreos sobre el rendimiento operacional, que ponen en peligro tanto al militar como al sistema operacional. El uso de siestas estratégicas (< 30 minutos) puede ser efectivo para combatir la falta de sueño. Desafortunadamente, su efectividad en entornos militares no está clara, ya que la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo con poblaciones civiles.

Aquí, presentamos un estudio sobre los efectos de una siesta estratégica sobre medidas psicofisiológicas, de desempeño y subjetivas durante una prueba de conducción simulada de larga duración tras dos guardias de 24 horas. Para ello, se han evaluado un total de 11 militares del Ejército de Tierra pertenecientes a los cuerpos de seguridad de diferentes acuartelamientos. Todos condujeron el simulador en modalidades autónoma y manual durante 3 horas justo tras la guardia. En una de las simulaciones, se le permitía dormir una siesta estratégica después de 1,5 horas, mientras el vehículo estaba en modalidad de conducción autónoma. En la siguiente simulación, durante la fase de conducción autónoma, no se le permitía dormir. En ambas simulaciones, tras la fase de conducción autónoma, retomaban el control del vehículo y se conducía por otros 30 minutos.

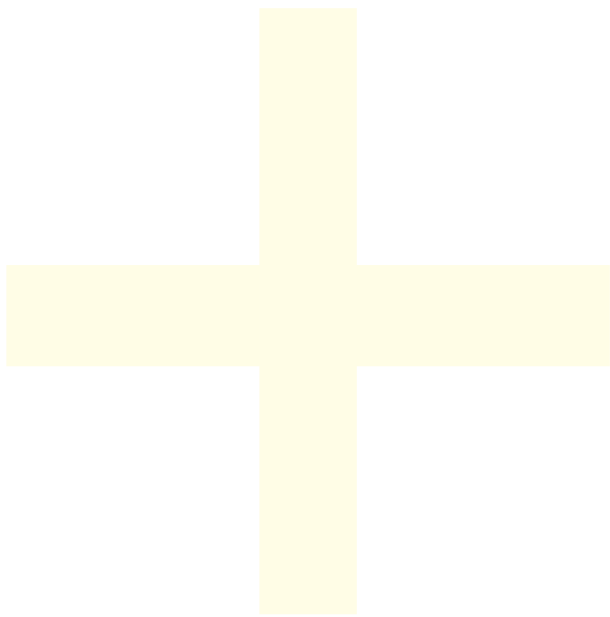
El uso de la siesta estratégica solo tuvo un efecto restaurador en la percepción subjetiva de cansancio y fatiga. Este efecto no se reflejó en el desempeño al volante ni en las medidas psicofisiológicas (e.g., movimientos oculares).

Nuestros resultados sugieren que el uso de siestas estratégicas en población militar podría ser beneficioso en situación de privación de sueño, aunque no suficiente para mejorar el desempeño y restaurar el estado psicofisiológico del conductor. Así, el uso sistemático de las siestas estratégicas podría mejorar el estado anímico de operadores que desarrollan guardias de 24 horas u operaciones largas.

DESE



Área 10: NRBOe



DESSE



10.1. Tecnologías para C-IED





Proyecto I+D PRINSE-APC-APC: protección de infraestructuras -paredes ordinarias de mampostería- contra los efectos producidos por grandes explosiones (coches bomba) (DESEi+d 2022: 7)

José Luis Mingote, Anastasio Santos, Gabriel Gomes, Ricardo Castedo, Lina López y María Chiquito

Para reducir los efectos de grandes explosiones producidas por coches bomba en edificios e infraestructuras, es necesario disponer de soluciones que eviten la proyección de fragmentos producidos por la rotura de paredes de cerramiento hacia el interior, minimizando daños del personal, equipo e instalaciones.

Para ello, el Centro de Excelencia OTAN contra la lucha de artefactos explosivos improvisados (C-IED COE), ha desarrollado el proyecto I+D PRINSE (enero 2019-mayo 2021) sobre protección de paredes ordinarias de mampostería mediante la aplicación de capas delgadas de elastómeros de alta calidad en las superficies traseras de paredes construidas con bloques de hormigón huecos.

En el proyecto liderado por el C-IED COE (estado del arte, análisis del mercado, buenas prácticas), han participado instituciones españolas y portuguesas: Universidad Politécnica de Madrid (modelización y simulación); INTA/La Marañosa (ensayos); Universidad de Miño (caracterización de elastómeros); Universidad Nova de Lisboa (caracterización elementos de paredes).

Se utilizaron cuatro poliureas de alta calidad (3 europeas y 1 americana) variando los espesores aplicados de 5 a 10 mm. La campaña experimental consistió en 6 ensayos (4 en ESP y 2 en POR). Durante el ensayo final realizado en las instalaciones del INTA/La Marañosa (Nov2020), una capa de poliurea de 7 mm de espesor resistió la explosión de 60 kg TNT equivalente a 5 m sin presentar daños o grietas en su superficie, evitando toda proyección de fragmentos hacia el interior.

Finalmente, y conforme a los resultados del modelado y simulación, se señala que una capa de 10 mm de espesor resistiría una explosión de 80 kg TNT equivalente a 5 m. Este límite es equivalente (en términos de presiones/impulsos específicos incidentes/reflejados) a una detonación de 250 kg TNT equivalente a 10 m o, 400 kg a 15 m, de acuerdo con la publicación US DoD Unified Facilities Criteria UFC3-340-2 y, por tanto, acredita el grado de efectividad de la solución PRINSE desarrollada.

Diseño optimizado de barreras perimetrales de protección (basadas en bloques de hormigón en forma de T invertida) frente a grandes explosiones mediante el uso de dispositivos de absorción de energía (DESEi+d 2022: 16)

José Luis Mingote, Gabriel Gomes, Iván Gil y Valter Lucio

Para protección de bases e instalaciones militares en escenarios operativos o infraestructuras de seguridad, se emplean a menudo barreras perimetrales de protección basadas en bloques de hormigón armado en forma de T invertida (bloques T), que mitigan los efectos producidos por grandes explosiones (caso de los llamados coches bomba).

Para incrementar la resistencia de dichas barreras, el Centro de Excelencia OTAN contra la lucha de artefactos explosivos improvisados (C-IED COE), ha desarrollado el proyecto I+D BLADE (enero 2019-diciembre 2021), caracterizando una solución que incrementa la resistencia de los bloques T mediante el empleo de dispositivos de absorción de energía (DAE) en su deformación plástica dinámica, dispositivos introducidos por la industria de automoción y empleados por la NASA y sectores del transporte y navegación.

En el proyecto liderado por el C-IED COE han participado el INTA/La Marañosa (ensayos y modelización y simulación –M&S- y la Universidad Nova de Lisboa (caracterización de elementos y M&S).

Para ello, se diseñaron y caracterizaron dos tipos de dispositivos: (1) tubos huecos (200 mm x 8 mm y longitudes 100, 160 y 260 mm y, (2) tubos de inversión de longitud 140 mm y 64; 54 y 42 mm. La solución BLADE ensayada incluye paneles de hormigón armado de sacrificio (2,75 x 1,00 x 0,20m; 1,44 tons) apoyados sobre bloques T (2,70 x 1,05 x 1,30m; 0,30 m espesor; 2,82 tons). Durante la campaña experimental se realizaron 5 ensayos de caracterización de dispositivos detonando 60 kg TNT equiv a 5 m y 2,5 m y, un ensayo final de concepto empleando dos barreras de bloques T, una con y otra sin sistema BLADE y, detonación de 60 kg TNT equiv a 2,2 m.

Tras los resultados experimentales y la modelización y simulación realizada, se ha demostrado que el sistema BLADE ensayado incrementa hasta un 300 % la resistencia de la barrera de bloques T, equivalente a la explosión de 150 kg TNT a 2,2 m, muy superior al incremento del 100 %, inicialmente previsto en el proyecto.

Sistemas radar de alta resolución embarcados en UAV para la detección de IED (Proyecto SAFEDRONE) (DESEi+d 2022: 75)

María García-Fernández, Guillermo Álvarez Narciandi, Yuri Álvarez López y Fernando Las Heras

El proyecto SAFEDRONE constituye el primer proyecto de I+D dedicado exclusivamente al desarrollo de prototipos de GPR embarcados en UAV para la detección precisa, rápida y segura de minas antipersona e IED en España, siendo además pionero a nivel mundial. El proyecto SAFEDRONE ha tenido como principales objetivos: i) desarrollo de un sistema georadar embarcado en un UAV capaz de proporcionar imágenes del subsuelo y de los objetos enterrados en el mismo con alta resolución; ii) diseño e implementación de arquitecturas alternativas del sistema radar embarcado para mejorar prestaciones del sistema en términos de detectabilidad y capacidad de escaneo; y iii) validación de los prototipos desarrollados durante el proyecto en escenarios realistas, de forma lo más similar posible a condiciones operativas.

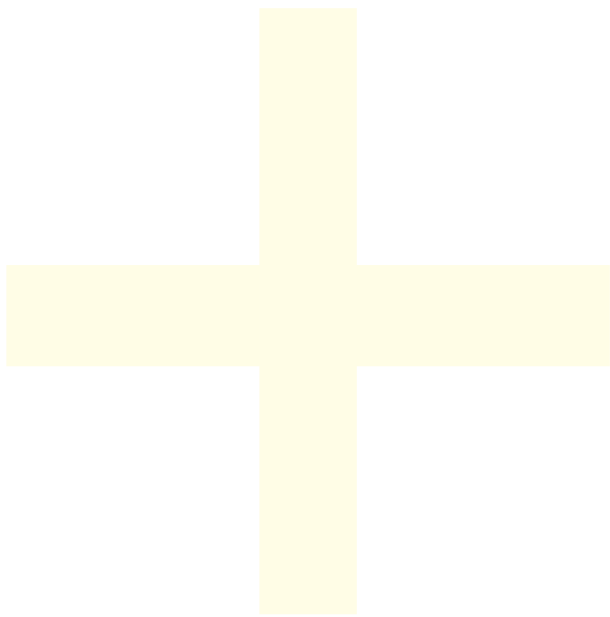
Las pruebas de validación se realizaron en marzo y octubre de 2021, en el Campo de Maniobras y Tiro de El Palancar, situado en Madrid. Estas consistieron en la inspección de 13 zonas de 12 m de largo por 4,5 m de ancho a lo largo de una ruta que comprendía diferentes escenarios y tipos de terreno. En dichas zonas expertos del C-IED COE y del Ministerio de Defensa enterraron previamente minas y artefactos de diversa índole, cuyo número, localización y características no fue revelado al equipo investigador hasta después de que este proporcionase los resultados de detección.

Los resultados obtenidos por los prototipos desarrollados durante el proyecto SAFEDRONE son prometedores. En particular, para objetos de tamaño mediano o grande (garrafas de plástico, minas contra-carro, granadas de mortero, obuses de artillería) se ha conseguido una probabilidad de detección ligeramente superior al 90 %. En lo que se refiere a falsas alarmas, la probabilidad fue del 27 % en las pruebas de validación de octubre, cifra que constituye una mejora significativa con respecto a las pruebas de marzo (> 60 %).

DESE



10.2. Defensa BRBQ





Protocolos de aislamiento y cuantificación de Sr-90 en orina en escenarios de rutina y emergencia radiológica (DESEi+d 2022: 32)

Inmaculada Sierra Bercedo y Carolina Hernández González

Los servicios de dosimetría interna requieren de la intervención de los laboratorios de medidas indirectas (bioensayos) para la cuantificación de la actividad de emisores alfa, beta y gamma en trabajadores/personas expuestas con riesgo de contaminación interna. Dicha actividad supone el paso previo e imprescindible para la cuantificación de la dosis incorporada.

En la última década, los laboratorios hemos focalizado nuestros esfuerzos en mejorar y/o encontrar nuevos métodos de medida rápidos que permitan dar respuesta a situaciones accidentales o incidentes en escenarios de emergencia, caracterizados por un posible elevado número de personas expuestas y altos niveles de actividad. Así, el Laboratorio de Bioeliminación (LB) del CIEMAT ha desarrollado diferentes procedimientos radioquímicos de medida rápido que permiten la cuantificación de actividad de actínidos y Sr-90 en un periodo de tiempo ostensiblemente inferior al establecido en rutina. El Sr-90 es un emisor beta que cuando se incorpora al organismo se metaboliza del mismo modo que el calcio, compitiendo con él, afectando al tejido óseo.

Actualmente, se disponen de dos métodos analíticos que permiten aislar y cuantificar la actividad de Sr-90 en la orina, a través de bioensayos. En ambos casos, el fluido obtenido es cuantificado mediante espectrometría de centelleo en fase líquida, aunque la radioquímica empleada y el tiempo de respuesta son diferentes.

Se presentan en este trabajo los dos métodos de separación establecidos en el LB: el aplicado en rutina o vigilancia convencional de los trabajadores expuestos, autorizado por el organismo regulador nacional (CSN) desde 1996 y acreditado según la norma ISO17025 desde 2012, así como el método rápido de utilidad en situación de emergencias.

Se identifican y analizan las similitudes y diferencias de todos los parámetros directa o indirectamente relacionados con la medida y el resultado obtenido, así como las validaciones realizadas mediante la participación en diferentes ejercicios de intercomparación internacionales.

Integración de la ionización bipolar en un climatizador para la mejora de la calidad biológica del aire respirado (DESEi+d 2022: 34)

Jorge Manuel Martín Arroyo y Raúl López Sánchez

Actualmente, todo parece indicar que nos encontramos entrando en una etapa de convivencia con el virus SARS-CoV-2 responsable de la Covid-19, de la misma forma que ya lo hacemos con muchos otros gérmenes como los influenzavirus responsables de la gripe. Además, es muy probable que en los próximos años continúe el proceso de zoonosis con virus como el H5N1 causante de la gripe aviar, o se aparezcan cepas resistentes a los antibióticos como las del Mycobacterium tuberculosis, el cual se encuentra lejos de estar erradicado.

En la edición anterior del DESEi+d se presentó una investigación que demostraba la viabilidad de la tecnología de ionización para reducir la tasa de patógenos asociados a aerosoles, hasta alcanzar niveles indetectables. En la presente edición del congreso se presenta la implementación de esa tecnología a un sistema comercial de purificación de aire y, además, se demuestra la viabilidad del citado acoplamiento. A lo largo de la comunicación se presentan evidencias científicas de su efectividad, mostrando las etapas principales del diseño y la puesta en funcionamiento del dispositivo.

El desarrollo tecnológico alcanzado se considera de especial relevancia al presentar una nueva manera de mitigar la transmisión de patógenos por vía aérea, sin necesidad de actuar sobre el sistema inmune de los individuos, pudiendo reducir la tasa de patógenos y, por lo tanto, el porcentaje de infectados.

Redes de narices electrónicas desplegadas en escenarios de catástrofes (DESEi+d 2022: 35)

Miguel Ángel Casquero Martín, Raúl López Sánchez y José Ángel Sanchidrián Blanco

El presente manuscrito presenta un estudio sobre narices electrónicas, *e-noses*, en concreto se utiliza el Belerofonte-II de INTA, analizando sus capacidades y tecnología, aplicable principalmente a catástrofes y en la búsqueda de explosivos.

En primer lugar, se presentan las capacidades y campos de aplicación de las *e-noses* empleando un método estadístico multivariante para la identificación de patrones: el análisis de componentes principales. Posteriormente, se aplica un modelo predictivo de dispersión atmosférica, en particular el de Pasquill-Gifford, a una zona previamente acotada, mediante la triangulación Delaunay.

Finalmente, alcanzando uno de los objetivos principales del proyecto que subyace tras esta comunicación, se realiza sobre Google Earth© un mapeado, en tiempo real, de los resultados ofrecidos por las ecuaciones del modelo predictivo, a partir de datos adquiridos por la nariz electrónica.

Evaluación de la protección de melatonina como agente multidiana para el tratamiento y recuperación de bajas generadas por agresivos químicos vesicantes (DESEi+d 2022: 54)

Alejandro Romero, Juan J. Torrado y Antonio Juberías

Los principales agentes de guerra química vesicantes, la mostaza de azufre y de nitrógeno, son capaces de generar radicales libres que pueden inducir toxicidad en las áreas expuestas, así como daño en el ADN y proteínas. Desafortunadamente, la descontaminación inmediata del individuo y eliminación total tras la exposición a los agentes químicos de guerra vesicantes es difícil de lograr actualmente, y no existen antídotos y tratamientos completamente eficaces. Por lo tanto, el objetivo que nos planteamos ha sido evaluar el potencial biológico y multifuncional de la melatonina frente al agente alquilante bifuncional mecloretamina o mostaza nitrogenada (bis(2-cloroetil)metilamina, HN₂) y caracterizar la dosis de esta indolamina en modelos experimentales. A pesar de que HN₂ evidenció una toxicidad diferencial en las líneas testadas, siendo mayor esta toxicidad en SH-SY5Y (CI50 3 μM) que en HaCaT (CI50 17 μM), la melatonina, a la dosis de 10 μM ejerció una reversión parcial de la toxicidad en ambas líneas celulares. Asimismo, hemos evidenciado que uno de los principales mecanismos de acción de melatonina frente a HN₂ ha sido la reducción de especies reactivas de oxígeno evitando que se establezca un cuadro de estrés oxidativo que induzca daño en los tejidos. A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el elevado perfil de seguridad de la melatonina (incluso a altas concentraciones farmacológicas), es lógico continuar investigando su potencial papel protector frente al daño causado por los agentes de guerra química vesicantes y considerarla como una molécula candidata para formar parte del arsenal de contramedidas médicas frente a la intoxicación de estos agresivos químicos.

Identificación molecular de *Coxiella burnetii* por PCR en tiempo real en muestras ambientales (DESEi+d 2022: 70)

Olga Bassy, María-Victoria Ortega-García, Ricela Sellek, Javier del Olmo-Monge, Juan Fernández-Carrillo y Juan Carlos Cabria

Coxiella burnetii, el agente causal de la fiebre Q, es un patógeno intracelular estricto, gram-negativo, cocoide y de pequeño tamaño. Una de las formas más comunes de adquirir la fiebre Q es a través de la inhalación de aerosoles que contienen la bacteria. Debido a que *C. burnetii* es altamente infecciosa, se propaga fácilmente y es muy resistente a las condiciones ambientales, se considera una amenaza biológica.

En este trabajo se presenta el desarrollo y la validación de una PCR en tiempo real específica para la detección de *C. burnetii*, basada en la amplificación de un fragmento del gen que codifica para la enzima isocitrato deshidrogenasa (gen *icd*). El ensayo es altamente específico, sensible y reproducible, ya que es posible detectar tan solo 5 unidades genómicas de *C. burnetii* por reacción de amplificación. Además, este método permite una diferenciación preliminar entre cepas, en base a una mutación puntual existente en la posición 745 del gen *icd* y el uso de sondas de hibridación, que puede utilizarse para determinar el potencial patógeno de una cepa concreta. Por último, el ensayo fue evaluado con éxito en muestras de suelo contaminadas, alcanzándose un límite de detección de 3 unidades genómicas por reacción en este tipo de muestras.

En resumen, se ha desarrollado un método rápido, específico y sensible para la identificación molecular de *Coxiella burnetii* en muestras ambientales. Además, esta PCR permite detectar un dimorfismo genético que es útil para clasificar de manera preliminar las cepas de *Coxiella burnetii*.

Identificación de *Vibrio cholerae* mediante inmunobiosensado de un factor de virulencia dependiente de Quorum Sensing (DESEi+d 2022: 82)

Nushin Alba Dabbagh Escalante, Paloma Lorenzo Lozano, Inés Peraile Muñoz, Juan Carlos Cabria Ramos y Matilde Gil García

Ante el escenario de los últimos años, ha quedado patente que la amenaza del uso de agentes de guerra biológica es un problema de seguridad a gran escala. Así, el diseño de sistemas de detección de agentes biológicos que puedan ser utilizados para el desarrollo de dispositivos de identificación en tiempo real, específicos y altamente sensibles se ha convertido en un objetivo prioritario para la mayoría de los países.

Actualmente, los inmunobiosensores se perfilan como una de las tecnologías más relevantes en el desarrollo de estos dispositivos, ya que permiten una detección rápida, sensible y altamente específica, basada en la unión antígeno-anticuerpo.

El Área de Defensa Biológica del Departamento de Sistemas de Defensa NBQ de la Subdirección General de Sistemas Terrestres del INTA, ha puesto a punto una metodología encaminada al desarrollo de un sistema de identificación de agentes de guerra biológica mediante inmunobiosensado de factores de virulencia dependientes de Quorum Sensing. Para ello se ha utilizado como modelo *Vibrio cholerae*, potencial agente de guerra biológica clasificado en la categoría B por el Centro para el Control de Enfermedades de Atlanta (CDC).

Drones detectores de sustancias NRBQ en atmósferas explosivas (DESEi+d 2022: 148)

José Tomás Romero Calle, Ana Ortega Serrano y Sandra Cerrato Moreno

El proyecto busca desarrollar un sistema de despliegue rápido y bajo coste para la detección y monitorización de la contaminación NRBQ en áreas de difícil acceso, posiblemente contaminadas, que pueda ser desplegado desde plataformas no tripuladas. Dicho sistema se basa en el despliegue de una nube de sensores inalámbricos de bajo coste por parte de plataformas no tripuladas, terrestres, aéreas o navales.

La nube de sensores se conecta a un centro de control desplegable que puede enviar la información obtenida en tiempo real a la red a usuarios finales, por ejemplo a sus terminales móviles para optimizar su operativa.

Un segundo objetivo del proyecto sería la obtención de una certificación ATEX para los elementos detectores de sustancias NRBQ, por ser este un escenario que previsiblemente vaya a tener bastante relevancia en un futuro cercano.

Mejora de los sensores de gases de guerra químicos a través del «*Deep Learning*» (DESEi+d 2022: 81)

Miguel Urbiztondo Castro, Sergio Gutiérrez Rodrigo y Said Hamad Gómez

El estudio de las energías de adsorción en interacciones soporte-analito, y más concretamente con agentes químicos de guerra, es un elemento clave en el campo de la detección en fase gas, que afecta no solo al material sensible, sino también a este material cuando es utilizado como concentrador.

Los cálculos teóricos utilizando la teoría del funcional de la densidad (DFT) pueden calcular las interacciones débiles que gobiernan estos mecanismos de adsorción. Se pueden simular cientos de estructuras distintas con cientos de moléculas únicamente a través de un cálculo computacional. El gran inconveniente es el tiempo de cálculo que se requiere para la simulación de estos sistemas en los que el número de átomos es elevado.

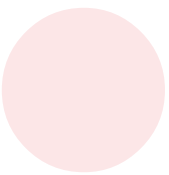
Lo que se propone en este trabajo es utilizar el aprendizaje profundo o «*Deep Learning*» para poder hacer cálculos de energías de estos sistemas con elevada precisión y en tiempos muy cortos.

DESE

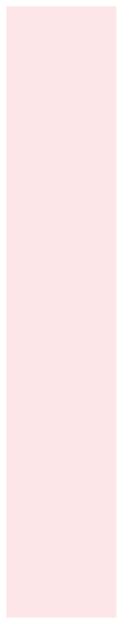


Área II: Tecnologías de la información, comunicaciones y simulación

DESE



I I. I. Sistemas de información
para C4I





Sistema de gestión de evacuación frente a catástrofes (DESEi+d 2022: 8)

Adriana Balboa Marras, Javier González-Villa, Arturo Cuesta Jiménez y Daniel Alvear Portilla

La destrucción de viviendas, lugares estratégicos e infraestructuras críticas como consecuencia de catástrofes naturales o provocadas por el hombre, son problemas que afectan a nivel humano, económico y ecológico a la sociedad. Las zonas altamente pobladas requieren una adecuada gestión frente a este tipo de catástrofes. Es por esto que, en el marco de respuesta y resiliencia, predecir y entender los procesos de evacuación masiva sean factores clave. Diversos enfoques actuales son útiles para planificar, pero carecen de capacidades en tiempo real que respalden el proceso de toma de decisiones a medida que la catástrofe evoluciona. Por lo cual, es necesario desarrollar modelos capaces de lograr un equilibrio entre los tiempos de ejecución y cantidad de información fidedigna proporcionada.

Para lograr este desafío, se ha desarrollado el SGEvaC (Sistema de gestión de evacuación frente a catástrofes), un sistema de gestión de evacuación en tiempo real que utiliza un enfoque estocástico considerando un modelo peatonal y vehicular basado en técnicas de microsimulación. El sistema está integrado por varios módulos que utilizan un sistema de información geográfica (SIG) para calcular y presentar los puntos de reunión, la ubicación de refugios óptimos y la red de rutas y tiempos de evacuación requeridos considerando los modelos de tráfico y enrutamiento, así como el impacto del desastre en términos de infraestructuras dañadas y áreas intransitables o anegadas.

Cabe destacar que este sistema ha sido validado en pruebas de laboratorio replicando el incendio forestal de Gran Canaria de 2019 y en pruebas de campo de manera local en simulacros de industrias SEVESO junto con Protección Civil de Cantabria. Además, sus capacidades también han sido utilizadas y validadas por servicios de emergencia europeos mediante pilotos en Turquía, Holanda y España en el marco del Proyecto ASSISTANCE (H2020), proyecto a través del cual se ha desarrollado el sistema.

Herramienta de evaluación de amenaza e impacto de ataques terroristas (DESEi+d 2022: 59)

Javier González-Villa, Arturo Cuesta Jiménez, Daniel Alvear Portilla y Adriana Balboa Marras

Según los datos que recoge la Global Terrorism Database™ (2021), en los últimos diez años más de la mitad de los atentados en Europa son perpetrados mediante artefactos explosivos (47,2 %) o mediante el uso de armas de fuego (23 %). Igualmente, se recoge que más de la mitad de los mismos están focalizados en la población civil, cuerpos y fuerzas de seguridad e infraestructuras críticas. La tendencia prevista en materia terrorista, como recoge el informe proporcionado por Europol (2021), identifica las ciudades como principal foco para este tipo de ataques. Por lo tanto, es necesario desarrollar sistemas de información que ayuden a minimizar las consecuencias en caso de atentado.

Para ello, se ha desarrollado una herramienta de análisis capaz de operar en tiempo real proporcionando información crítica, necesaria para el soporte decisional frente a actos terroristas en etapas de planificación, despliegue y respuesta. Este sistema está basado en un enfoque estocástico permitiendo explorar multitud de escenarios hipotéticos para la evaluación de amenazas de artefacto explosivo improvisado en ubicaciones de gran concurrencia o eventos multitudinarios, así como la evaluación del posible impacto de atentados con arma de fuego. Esta información proporcionada permite a los gestores de la seguridad tanto públicos como privados la optimización en el despliegue de activos mediante la identificación de zonas vulnerables pudiendo así minimizar la exposición y el impacto frente a este tipo de ataques.

Cabe destacar que este desarrollo se ha llevado a cabo al amparo del proyecto europeo S4AllCities (H2020) permitiendo explotar mediante este tipo de sistemas las capacidades de las *Smart Cities* en materia de seguridad. Este sistema ha sido aplicado en un piloto real en la ciudad de Trikala (Grecia), un simulacro de atentado combinado en el estadio Doosan Arena en Pilsen gestionado por la Policía checa y se validará adicionalmente en Bilbao (España).

Análisis de la aplicación de las técnicas de *big data* en defensa y seguridad. El Caso de la invasión de Ucrania (DESEi+d 2022: 80)

Lucía Martín Pérez y Félix Pérez Martínez

La cantidad de datos digitales ha ido creciendo a un ritmo vertiginoso en los últimos años y se están desarrollando técnicas capaces de procesar grandes cantidades de datos para aprender patrones complejos y emplear «conocimientos ocultos» para predecir comportamientos y extraer nuevas informaciones de utilidad. Es lo que se conoce como *big data*, un conjunto de técnicas que se están desarrollando vertiginosamente en numerosos sectores de actividad, entre ellos el de defensa y seguridad.

En este trabajo se han recopilado numerosos trabajos de investigación y desarrollo que utilizan el análisis de datos, y en particular el *big data*, en el ámbito militar y de la seguridad. Los resultados del mismo demuestran que los futuros escenarios de conflicto están constituidos no solo con barcos, tanques, misiles, satélites..., que dispondrán de sensores cada vez más sofisticados, sino también con algoritmos, redes y sensores especializados para conseguir la superioridad de la información.

En definitiva, la gran cantidad y heterogeneidad de los datos disponibles en el campo de batalla facilitará, cuando no obligará, a la aplicación de técnicas de *big data*. El trabajo también ha puesto de manifiesto que las principales áreas de interés son las siguientes:

- Sistemas de información.
 - Gestión del conocimiento.
 - Inteligencia.
 - Análisis de redes sociales y *fake news*.
 - Logística.
- Ciberdefensa y ciberseguridad.
- Common operational picture, consciencia situacional y toma de decisiones.
- Análisis forense digital.
- Sistemas de datos geográficos.

Como caso de estudio se ha analizado el uso de estas técnicas en la invasión de Ucrania por parte de Rusia donde se están empleando masivamente técnicas sofisticadas de análisis de datos. En el trabajo se presentarán los resultados de un análisis de las informaciones publicadas sobre el conflicto para determinar el nivel de aplicación de las mismas en las áreas antes indicadas.

POSINT.IA: plataforma OSINT basada en técnicas de IA para la monitorización de la comunidad de defensa en Twitter (DESEi+d 2022: 91)

Norberto Fernández García, María Álvarez Hernández, Milagros Fernández-Gavilanes, José P. González-Coma, Miguel Rodelgo Lacruz y Ramón Touza Gil

La Oficina del director de Inteligencia Nacional de los Estados Unidos, define OSINT (*Open Source Intelligence*) como inteligencia producida a partir de información disponible públicamente que se recopila, explota y difunde de manera oportuna a una audiencia adecuada con el fin de abordar un requisito de inteligencia específico. Aunque la comunidad de inteligencia lleva décadas trabajando en el desarrollo de técnicas OSINT, la aparición de Internet y el auge de las redes sociales han complicado el panorama en lo que a fuentes se refiere, requiriendo una modernización de los métodos, y llegando incluso a hablarse de la necesidad de una segunda generación de sistemas OSINT. Es por ello por lo que, tanto en el ámbito nacional (como se refleja en la estrategia ETID 2020) como en el internacional hay un creciente interés en el desarrollo de plataformas que permitan hacer frente a los desafíos que impone este nuevo escenario. Con este fin, el proyecto de investigación POSINT.IA persigue como objetivo el desarrollo de una plataforma OSINT, basada en técnicas de inteligencia artificial (IA), para la monitorización de la comunidad de usuarios de la red social Twitter de interés para el ámbito de defensa. La plataforma a desarrollar utilizará información públicamente disponible a través de la API de Twitter (contenido, interacciones sociales, red de contactos, etc.) que se analizará mediante técnicas de IA para identificar de manera automática (aunque supervisada) perfiles de interés en la red social. Se procederá a continuación a hacer un seguimiento de estos perfiles, capturando los *tuits* en ellos publicados con el objetivo de extraer información de valor: identificación de tendencias temáticas o de usuario, alertas cuando se mencionen ciertos tópicos, estadísticas del estado y evolución de la comunidad, etc. La comunicación describirá los objetivos del proyecto, la arquitectura del sistema propuesto y los resultados iniciales.

Procesamiento de audio y lenguaje natural para el análisis de ejercicios en lanchas de instrucción (DESEi+d 2022: 96)

Milagros Fernández-Gavilanes, Norberto Fernández García, María Álvarez Hernández, José P. González-Coma y Ramón Touza Gil

Como parte de su proceso de formación como futuros oficiales de la Armada los alumnos de la Escuela Naval Militar realizan periódicamente salidas en lanchas de instrucción. En estas salidas se llevan a cabo ejercicios de maniobra, navegación, simulacros de hombre al agua y otros intentando recrear, de la manera más fielmente posible, el entorno operativo de un navío militar y su puente de mando, con el que buena parte de los futuros egresados se van a encontrar al incorporarse a sus destinos. Un aspecto característico de este tipo de actividad formativa es que se realiza en tiempo real, sin que actualmente exista posibilidad de volver en el futuro sobre su desarrollo con el objetivo de realizar un análisis a posteriori. Este tipo de análisis tiene gran interés pedagógico, pues permitiría a los alumnos detectar potenciales errores o situaciones que pudieran ser objeto de mejora y reflexionar sobre ellas. Teniendo esto en cuenta, el proyecto PANNACOTA (*Processing Audio and Natural language for Naval COmmunications TAsks*), actualmente en desarrollo, se plantea como objetivo el registro del audio de las conversaciones realizadas en el puente de mando de las lanchas de instrucción. Sobre estas conversaciones se procederá a realizar un análisis apoyado en técnicas de inteligencia artificial (IA) y, más concretamente, de procesamiento de lenguaje natural (PLN), para detectar automáticamente comunicaciones (p.ej. órdenes que se han emitido) en base a parámetros tales como palabras clave en la conversación. Integrando esta información con la obtenida de la telemetría de la lancha (rumbo, posición, velocidad, etc.) se pretende obtener como resultado una bitácora digital que pueda ser reproducida por los alumnos para la recreación y análisis del ejercicio realizado. La comunicación a enviar describirá los objetivos del proyecto, la arquitectura del sistema propuesto y resultados preliminares obtenidos del prototipo actualmente en proceso de implementación.

Estimación de canal de comunicaciones inalámbrico para despliegues de array de antenas masivos (DESEi+d 2022: 142)

José P. González-Coma, David Delgado Martínez y María Álvarez Hernández

Las próximas generaciones de comunicaciones inalámbricas (5G y 6G) surgen ante los nuevos retos que plantean la sociedad y la industria. Esto es, aumentar el número de dispositivos conectados a la red, así como su tasa de datos. Una de las tecnologías necesarias para alcanzar estos objetivos son los sistemas con múltiples antenas, que permiten mejorar diversos aspectos: desde la velocidad de transmisión de la información, el alcance de la señal de radiofrecuencia, o el número de usuarios compartiendo recursos. Para poder obtener estas interesantes ventajas, es imprescindible conocer el estado del canal de comunicaciones inalámbrico. La adquisición de esta información se debe hacer mediante la aplicación de técnicas de estimación. Sin embargo, cuando el número de antenas empleadas por estos sistemas crece, esta tarea se vuelve más complicada, ya que las estrategias típicas de estimación de canal conllevan una latencia inabordable en la práctica. Además, al incrementar mucho el número de antenas y reducir las distancias entre los usuarios y las estaciones base, las asunciones típicas de campo lejano dejan de aplicar. En otras palabras, estos esquemas prácticos precisan utilizar el modelo de propagación de onda esférico.

El presente trabajo comprende el estudio de métodos matemáticos para estimar el canal de comunicaciones, analizando las limitaciones de aproximaciones clásicas de la literatura de procesado de señal, y proponiendo líneas futuras que superen dichas limitaciones y se ajusten a este escenario. Además, para comprobar empíricamente las conclusiones obtenidas de los análisis teóricos, se realizarán simulaciones por ordenador que permitan comprobar la aplicabilidad de las diferentes estrategias planteadas.

Análisis de datos AIS en tiempo real para la detección de anomalías en el entorno marítimo (DESEi+d 2022: 144)

Miguel Rodelgo Lacruz, Belén Barragáns Martínez, Norberto Fernández García, Pablo Sendín Raña y Andrés Suárez García

El Centro de Operaciones y Vigilancia de Acción Marítima (COVAM) es el instrumento del que se vale la FAM (Fuerza de Acción Marítima) para fusionar y analizar la información recibida de numerosas fuentes, obteniendo una imagen precisa de todo lo que sucede en los espacios marítimos de interés nacional, lo que se conoce como «conocimiento del entorno marítimo» (CEM). La principal fuente de datos proviene de los mensajes AIS (*Automatic Identification System*) transmitidos por las radiobalizas instaladas a bordo de los buques, que contienen información cinemática, relativa al viaje y a las características del buque emisor. Inspeccionar la alta tasa de mensajes transmitidos (aproximadamente ocho millones de mensajes diarios en los espacios marítimos de interés) requiere de tecnología capaz de procesar volúmenes *big data* de datos AIS en tiempo real como apoyo al operador humano. Los proyectos CEMAI (inteligencia artificial para el conocimiento del entorno marítimo) y SIRENA (Sistema de Inteligencia artificial para el Reconocimiento del ENtorno mArítimo), financiados por la Armada y el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar, respectivamente, tienen por objetivo el desarrollo de un demostrador que permita la aplicación de la inteligencia artificial al CEM con el propósito de mejorar los procedimientos operativos desarrollados por la Armada desde el COVAM. En la solución propuesta, el flujo de datos AIS es capturado en tiempo real, filtrado (duplicados, etc.), enriquecido (con datos registrales, entre otros), almacenado en un motor de búsqueda, analizado mediante técnicas estadísticas y de aprendizaje automático y representado en un cuadro de mando. Los resultados muestran que la solución desarrollada es capaz de procesar el flujo AIS en tiempo real y detectar diversos escenarios anómalos definidos por el COVAM como actividades no autorizadas, encuentros sospechosos (*bunkering*, transbordos ilegales, etc.) y movimientos anómalos (derrotas antieconómicas, tráfico fuera de lo normal, etc.).

Algoritmo de visualización ágil para la definición geométrica de túneles subterráneos a partir de la tecnología LIDAR (DESEi+d 2022: 171)

Iván Puente Luna, Xavier Núñez Nieto y T.N. Tirso de Gracia García

El conocimiento del espacio subterráneo supone uno de los puntos fuertes de investigación dentro del campo tecnológico militar, habida cuenta de la relevancia táctica que supone cualquier instalación situada bajo tierra. En esta línea, se presenta la caracterización y reconstrucción volumétrica mediante técnicas de prospección no destructivas, de una instalación compuesta por un túnel y un entramado de galerías, emplazados en la Escuela Naval Militar (ENM). La metodología creada en este trabajo combina el escaneado láser (tecnología LIDAR) y la implementación de un algoritmo de elaboración propia empleando *software* específico que logra definir geoméricamente este espacio en su situación y estado real. Por último, haciendo uso de una herramienta integrada en el *software* matemático, se crea una interfaz mediante la cual un usuario no familiarizado con el programa, puede obtener de una manera sencilla los datos resultantes de la aplicación del algoritmo sobre el túnel de la ENM.

DetECCIÓN AUTOMÁTICA DE DISCURSO DE ODIOS EN REDES SOCIALES (DESEi+d 2022: 182)

Milagros Fernández-Gavilanes, Sheila María Pachón de la Torre, Norberto Fernández García y Andrés Suárez García

Hoy en día resulta tremendamente sencillo publicar casi cualquier cosa en redes sociales y presentar esa opinión como un *hecho* o incluso hacer declaraciones falsas sin ser cuestionado. En este sentido, en los últimos años se ha observado una proliferación de discurso de odio en Internet, gracias a su avance exponencial. En este sentido, las tecnologías enfocadas al desarrollo de algoritmos de detección de odio se encuentran en plena expansión. Grupos terroristas, extremistas y hasta cárteles están utilizando las redes sociales para difundir su narrativa, aumentar la polarización y la desconfianza en los gobiernos, y así reclutar más adeptos para infundir más terror y odio, y ganar territorio para sus actividades ilegales.

La comunicación a enviar describirá un enfoque para la creación de un sistema de detección del discurso de odio en redes sociales, mediante la aplicación de técnicas de procesamiento del lenguaje natural (PLN) que servirán para entrenar diversos algoritmos de inteligencia artificial (IA), particularmente, de aprendizaje máquina. Con este fin, se describirá la extracción de características superficiales y léxicas empleadas en el enfoque, así como otras técnicas de análisis aplicadas. Finalmente, se mostrarán resultados obtenidos a partir de un conjunto de *tuits* de temática yihadista en un entorno multilingüe, focalizado en los mensajes escritos fundamentalmente en inglés y árabe.

Propuesta de modelo de sistema de información para su implantación en un gemelo digital oceanográfico (DESEi+d 2022: 209)

Carlos Pérez Collazo, Milagros Fernández Gavilanes, Jorge Eiras Barca y Enrique Barahora Peláez

La implantación de las tecnologías 4.0 constituye una de las prioridades básicas en investigación tanto de la Armada como de la sociedad civil. Así, la definición de gemelos digitales avanzados que permitan una óptima gestión de los recursos existentes es clave para adaptarse a un entorno cambiante y dinámico. Esto, toma una mayor relevancia, si cabe, cuando se trata de gestionar o interpretar la información de un entorno tan cambiante y dinámico como lo es el medio marino. La definición de un gemelo digital oceanográfico (*Oceanographic Digital Twin* - ODT) que permita una gestión ágil e interactiva de los múltiples recursos y fuentes de información relacionadas con la mar, es clave para enfrentarse a amenazas tales como el terrorismo, el cambio climático o las mafias organizadas. Pero también lo es para una gestión ágil de los recursos en escenarios de guerra multidominio.

Este trabajo aborda la conceptualización de un modelo de información que permita su posterior implantación en un gemelo digital oceanográfico. Para ello, se plantea avanzar en la actual gestión de la información espacial mediante sistemas de información geográfica (GIS) y bases de datos estructuradas, a un sistema que toma la metodología BIM (*Building Information Modelling*) y las bases de datos semánticas para desarrollar una gestión ágil de la información. Integrando fuentes de datos tan variadas como, por ejemplo: la infraestructura de datos espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina (IdeIHM), información meteorológica, el estado de la mar, o datos AIS.

DESE



11.2. Comunicaciones tácticas





5G para comunicaciones tácticas (DESEi+d 2022: 2)

Francisco Javier Cruz Hernández

Con objeto de poder emplear 5G en el ámbito de las comunicaciones tácticas, se propone introducir las siguientes modificaciones en la arquitectura inalámbrica abierta (OWA) para introducir mecanismos de protección electrónica (EPM) y lograr baja probabilidad de interceptación (LPI), baja probabilidad de detección (LPD) y *anti-jamming*:

1. Espectro ensanchado por salto de frecuencia multiportadora. Se propone emplear la modulación de espectro ensanchado multiportadora basado en bancos de filtros (FBMC-SS) que permite mantener el salto de frecuencia ortogonal. Presenta mejor relación señal a interferencia más ruido (SINR) y mejor tasa de error de bit (BER) frente a otras alternativas. Operación en banda IV de OTAN (4,4 - 5 GHz).
2. Salto de frecuencias adaptativo encriptado. Se parte de un conjunto de N-frecuencias disponibles en función de la banda de trabajo y la canalización empleada. Este conjunto se mezcla de forma pseudoaleatoria por una función criptográfica. A las primeras M-frecuencias las denominamos frecuencias primarias y las restantes, (N-M)-frecuencias de repuesto. Cuando se detecta que una frecuencia está por encima de un límite aceptable en BER y SINR se descarta, y se pasa a emplear una frecuencia de repuesto.
3. *Beamforming* digital. Controlar el patrón de radiación para cancelar la recepción de emisiones interferentes en la dirección de llegada correspondiente. Por otra parte, conformar el patrón de radiación para ser más directivo (cancelar emisiones en direcciones no deseadas).
4. MU-MIMO. Permite implementar salto de trayecto. Consistente en cambiar dinámicamente la distribución de potencia transmitida entre las diferentes antenas disponibles. Por otra parte, si se dispone de MU-MIMO en todos los nodos se pueden realizar retransmisiones entre nodos y formar redes MANET basadas en 5G, en lugar de la tradicional red mallada celular dependiente de la conectividad con la estación base gNodo-B. Permite operar sin disponibilidad de infraestructura celular en los teatros de operaciones.

Securización de comunicaciones tácticas mediante espectro ensanchado cuántico (DESEi+d 2022: 3)

Francisco Javier Cruz Hernández

QKD proporciona comunicaciones con baja probabilidad de explotación (LPE), impidiendo que el adversario pueda extraer información del contenido de la emisión detectada, evitando de esta forma la escucha. Sin embargo, las comunicaciones cuánticas QKD en espacio libre pueden ser interferidas por medio de un láser.

Los receptores QKD, debido a que intentan medir los estados cuánticos de los fotones detectados, son extremadamente sensibles a la pérdida de fotones durante la transmisión o a la inserción espuria de fotones. De tal forma que si un adversario, mediante un láser actuando como *jammer*, inyecta fotones adicionales en el canal puede perturbar la transmisión, incrementando la tasa de errores cuánticos (QBER), hasta llegar a hacerla inviable.

Para mejorar las medidas de protección electrónica (EPM) se proponen implementar técnicas de espectro ensanchado cuántico para fotones individuales. Concretamente, espectro ensanchado de secuencia directa (Q-DSSS) y espectro ensanchado por salto de longitud de onda (Q-WHSS).

En el contexto de la mecánica clásica, la modulación de espectro ensanchado emplea un código de ensanchamiento de carácter pseudo-aleatorio que viene dado por la clave TRANSEC.

Sin embargo, se necesitan números que sean verdaderamente aleatorios. Para ello, se puede emplear un generador cuántico de números aleatorios (QRNG) que permite lograr la verdadera aleatoriedad para las claves utilizadas.

El sistema propuesto emplea una trampa magneto-óptica bidimensional (2D-MOT) para generar pares de fotones de banda estrecha entrelazados en polarización.

En Q-DSSS, los fotones generados por 2D-MOT se modulan directamente con el código aleatorio producido por QRNG. Mientras que en Q-WHSS, los fotones generados por 2D-MOT se modulan con portadoras ópticas cuyas longitudes de onda cambian de acuerdo con la secuencia aleatoria dada por QRNG.

Las modulaciones de espectro ensanchado cuántico expanden el espectro del fotón proporcionando baja probabilidad de detección (LPD), baja probabilidad de interceptación (LPI) y resistencia frente a *jamming*.

Operaciones de entrenamiento y comunicación militar basadas en el metaverso (DESEi+d 2022: 9)

Juan José Manso Escribano y Antonio Cantero

Las nuevas tecnologías se están desarrollando de manera vertiginosa, y más en estas últimas décadas. Tras la realidad virtual, ha surgido el metaverso. Este mundo paralelo aún está en sus inicios y apenas hay un gran desarrollo a pesar de la cantidad de millones que se están invirtiendo. A pesar de ello, esta tecnología y este posible mundo paralelo pueden tener un gran desempeño en el campo militar.

Para conocer el metaverso y sus posibilidades en el entorno militar se debe uno introducir en la realidad virtual y la realidad aumentada. Estas dos realidades determinan los grados de inmersión en la realidad virtual y los niveles en la realidad aumentada. Tanto una como otras son la puerta hacia el metaverso.

Las operaciones logísticas y de combate en el ámbito militar y dentro de este entorno pueden ser determinantes para conseguir entrenamiento y acciones de explotación y optimización con un gran ahorro de recursos económicos. ¿hasta dónde puede llegar dentro del campo militar?, ¿se sabe hacia dónde se va a mover? Estas y otras preguntas son objeto de tratamiento en el artículo.

Un aspecto de la realidad virtual es el ofrecer muchas ventajas en entrenamientos sintéticos. Permite ahorrar costes y disminuir los riesgos, entre otros aspectos. Además, permite entrenar la comunicación a la hora de trabajar en equipo. Esto hace que cada vez más los Estados inviertan parte del presupuesto en defensa en la simulación, la cual se puede hacer mediante grandes inversiones o con pequeños presupuestos.

Diseño e implementación de un prototipo de radio definida por *software* de bajo coste desplegable sobre la red radio combate (RCC) (DESEi+d 2022: 85)

Jesús Aparicio Oliver, Víctor López Calonge, Félix Hernanz Beltrán, Martín Díaz Cuesta y Ramón Sánchez Aldehuela

La capacidad actual en comunicaciones radio en las FAS está constituida por equipos analógicos (a extinguir) y equipos digitales, no estando ninguno certificados para el manejo de información clasificada nacional y pudiendo dar respuesta a las necesidades de comunicación táctica del combatiente. La radio definida por *software* (SDR) surge para proporcionar soluciones flexibles e innovadoras en el diseño e implementación de nuevas formas de onda.

Enmarcado dentro de la iniciativa del Ejército 2035 y en línea con el Sistema conjunto de radio táctica (SCRT) y con el objeto de fabricar radios multimodo y multibanda nacionales, el Centro de Pruebas y Validación del ET (CEPRUVAL) de la JCISAT impulsa en colaboración con la universidad y la industria, un proyecto de radio definida por *software* de bajo coste desplegable sobre la red radio combate (RCC).

En este proyecto se ha diseñado e implementado, mediante una metodología ágil de desarrollo de proyecto, un prototipo de radio definida por *software* de bajo coste, implementando una forma de onda de uso actual en la red radio de combate nacional y OTAN.

Se ha realizado un sistema funcional de radio definida por *software* que ha superado con resultados positivos las pruebas de interoperabilidad con las radios tácticas actuales. La solución aportada está diseñada para admitir muchas formas de onda diferentes, incluidas formas de onda actuales críticas (como HAVEQUICK), como formas de onda emergentes y futuras.

El proyecto cubre los objetivos de capacidades señalados en el OCM 2019-24 en vigor integrando:

- Algoritmos criptográficos nacionales, con el fin de obtener soberanía nacional en materia de cifra.
- Integración de formas de onda OTAN y nacionales.

El proyecto supone un avance significativo y necesario en el Ejército para aumentar la capacidad de comunicación a nivel táctico para adaptarse a las necesidades cambiantes del espacio de comunicaciones CIS.

De múltiples sistemas embarcados a un sistema de sistemas con nuevo enfoque en las comunicaciones tácticas (DESEi+d 2022: 118)

Ana B. Ruiz, José M. Tuñas, Miguel Gutiérrez y Ángel M. Gracia

Ante las nuevas amenazas del siglo XXI, como los misiles hipersónicos, los torpedos de supercavitación, los sistemas de armas de energía dirigida o los enjambres de drones, se detecta la necesidad de mejorar las capacidades militares, la reducción de los tiempos de reacción o la ayuda a la toma de decisiones mediante la aplicación de inteligencia artificial y *big data*.

La rápida evolución de las comunicaciones, que tiende hacia un mayor consumo de ancho de banda y el desarrollo de nuevas tecnologías disruptivas en el terreno civil, como la hiperconvergencia y las arquitecturas orientadas a servicios, están permitiendo definir un nuevo paradigma en los sistemas embarcados navales al objeto de solventar estas necesidades. Este nuevo modelo se fundamenta en:

- El desarrollo de un nuevo sistema de misión a bordo unificado y definido por *software* que facilite la gestión, la escalabilidad, la alta disponibilidad y la reducción de costes del sistema.
- La obtención de un amplio catálogo de servicios, independiente del HW que lo sustente, que proporcione todas las capacidades que deben tener los diferentes tipos de buques militares para llevar a cabo los perfiles de misión que se les asigne.
- La integración con la nube táctica multidominio.

Estas consideraciones han motivado a Navantia, como desarrollador/integrador de sistemas navales y a TecnoBit, como suministrador de sistemas de enlaces tácticos, a llevar a cabo por primera vez en España, un demostrador basado en la integración de unos servicios core del sistema de combate, con un nuevo *software* que actúa de nodo de comunicaciones multiprotocolo, orientado a servicios y con múltiples interfaces externas. Dicho nodo será altamente configurable y proporcionará acceso a enlaces tácticos de datos y a nuevas tecnologías, como enlaces de banda ancha o 5G, permitiendo al mismo tiempo la integración del buque dentro de una nube táctica.

Aplicaciones de las técnicas de transmisión *In-Band Full Duplex* en el ámbito militar (DESEi+d 2022: 189)

Pablo Losada Sanisidro, Jorge Pose Eiroa, Pablo González Méndez, Pablo González Fernández y Luis Pérez Roca

En general, los nodos que participan en un sistemas de comunicaciones *full duplex* —es decir, con enlaces bidireccionales y concurrentes— transmiten y reciben formas de onda con una separación clara, ya sea en el tiempo (esquemas TDD - *Time Division Duplexing*) o en la frecuencia (esquemas FDD - *Frequency Division Duplexing*). Como alternativa, las técnicas de transmisión *full duplex* dentro de banda (IBFD - *In-Band Full Duplex*) persiguen que un nodo pueda emplear simultáneamente la misma banda de frecuencias tanto para la transmisión como para la recepción de señales. Esto trae consigo ventajas importantes, tales como una mejora en la eficiencia espectral y una reducción en la latencia —con respecto a sistemas TDM—, aunque también genera un reto tecnológico significativo, y es que cada nodo recibe no solo las señales de interés procedentes de otros nodos remotos, sino también su propia transmisión. Este fenómeno se denomina autointerferencia, y supone un impedimento para la recepción correcta de las señales de interés, puesto que la potencia de estas últimas está, normalmente, varios órdenes de magnitud por debajo del nivel de autointerferencia.

Los avances más recientes en las técnicas de cancelación activa de autointerferencia han derivado en que los esquemas de transmisión IBFD resulten viables técnicamente, y en efecto, este tipo de tecnologías encuentra diversas aplicaciones en la actualidad. Por ello, en este trabajo se repasan las soluciones de cancelación activa de autointerferencia conocidas, y se exponen los casos de uso más importantes en el ámbito militar, tanto actuales como previstos para el futuro. En particular, destacan las aplicaciones en sistemas de comunicaciones tácticas, con capacidades de *jamming* inteligente (por ejemplo combinado con esquemas de monitorización espectral o recepción de datos simultánea), comunicaciones tácticas combinadas con esquemas de monitorización espectral, y radar.

El Proyecto DISCRETION: redes definidas por software y criptografía cuántica en comunicaciones para la defensa (DESEi+d 2022: 246)

Vicente Martín, Catarina Bastos, Juan Pedro Brito, Rafael Cantó, Diego López, Armando Pinto, Nuno Silva, Laura Ortiz, Ricardo Chaves, Francisco Fontes, Luís Maia, Martin Stierle, Sebastian Ramacher, Pietro Giardina y Giacomo Bernini

En un contexto militar, los servicios de información y comunicaciones son de importancia central. Estos servicios se basan en una infraestructura segura y confiable. En el contexto actual, estas redes son a menudo estáticas y rígidas. Las redes SDN (*Software Defined Networking*) permiten una mayor flexibilidad, agilidad y capacidad de gestión de la red. Estas propiedades son muy deseables en entornos dinámicos, y la SDN puede ampliar sus beneficios a la interfaz con redes SDR (*Software Defined Radio*). Además, SDN también puede garantizar redundancia y resiliencia contra fallos. La adopción de SDN también abre la posibilidad de tener una red QKD (*Quantum Key Distribution*) flexible. QKD proporciona una forma muy segura de distribuir claves criptográficas a diferentes puntos. Sin embargo, la tecnología actual de QKD está limitada en alcance y flexibilidad, generalmente basada en conexiones punto a punto e infraestructura fija. Por lo tanto, SDN y QKD proporcionan beneficios mutuos de manera simbiótica: SDN permite una red QKD flexible, con capacidades de control y monitoreo, y QKD permite comunicaciones altamente seguras dentro de SDN.

DISCRETION tiene la intención de desarrollar una solución SDN que integre las capacidades de QKD para comunicaciones seguras, de manera que la defensa europea pueda beneficiarse de estas tecnologías para ser efectiva no solo para la conciencia situacional de la red, sino también para la conciencia situacional cibernética. Los cifradores serán los componentes responsables de garantizar la protección de datos en DISCRETION, permitiendo el cifrado y descifrado en tiempo real, utilizando claves proporcionadas por el plano SDN-QKD, así como claves precompartidas para implementar la arquitectura rojo-negra de las redes militares. En el caso de la movilidad y escenarios tácticos, las soluciones SDR se analizarán e integrarán en la solución SDN para cubrir segmentos de redes radio y apoyar los servicios de comunicación seguros en escenarios móviles.

Análisis de uso de radio cognitiva en redes militares tácticas (DESEi+d 2022: 253)

Juan José Forteza

La gran cantidad de sistemas de comunicación inalámbrica existentes comparten un problema común a todos ellos, que es la asignación de espectro y la optimización de la eficiencia del ancho de banda para maximizar el retorno del activo, especialmente en las bandas por debajo de 3GHz. Los nuevos sistemas de comunicaciones tácticas necesitarán anchos de banda muy superiores a los actuales, hasta 40 veces, lo que incrementará la capacidad y también las dificultades para organizar el espectro de una manera eficiente. Al mismo tiempo la digitalización del campo de batalla posibilita la conexión de numerosos dispositivos que tienen por fin transmitir una cantidad de datos muy reducida, sensores de equipos o combatientes pueden por fin transmitir de manera ocasional y sin perturbar otras comunicaciones una información que en la mayoría de los casos no es prioritaria.

El concepto de radio cognitiva también podría ser una solución para compartir el espectro entre diferentes tipos de usuarios en función de las prioridades. Este concepto permitiría el uso del espectro por usuarios de segunda prioridad bajo la condición de minimizar el impacto en los primarios.

El objetivo del documento es analizar diferentes algoritmos que se puedan aplicar para garantizar la compartición del espectro entre usuarios de diferentes clases y mediante la simulación presentar los resultados de los mismos. El documento tendrá en cuenta la existencia de las nuevas formas de onda para radios definidas por *software* que están en proceso de despliegue en los ejércitos de varios países

DESE



11.3. Simulación



Integración de sistema BCI en simulador de vuelo (DESEi+d 2022: 56)

Marine Cottine, Germán Rodríguez, Louis Galván, José Luis Roca González y Juan Antonio Vera López

Los sistemas de interfaz cerebro ordenador (BCI, acrónimo en lengua inglesa de *Brain Computer Interface*) es un campo de rápido crecimiento en el mundo científico. El principio básico es sencillo: establecer una comunicación entre el cerebro humano y un dispositivo externo sin usar músculos, solo con ondas cerebrales. Existen varios enfoques de los sistemas BCI, siendo uno de ellos el que se basa en la imaginación del movimiento. Estos, son capaces de capturar las ondas cerebrales mediante electrodos, procesarlas, e interpretar la imaginación de movimiento realizada por el usuario en cada momento. Por otra parte, el entrenamiento de los pilotos del Ejército emplea todos los medios a su alcance para hacerlo más efectivo, seguro y eficiente tanto en términos de rendimiento como de costes. El empleo de simuladores está ampliamente extendido, siendo una herramienta fundamental para los pilotos tanto de aviones como de drones. El Centro Universidad de la Defensa de San Javier cuenta con un simulador inmersivo con visión de 190° basado en *Digital Combat Simulator World*. Está equipado con una reproducción de la cabina del A10 con casi todo el sistema de control integrado.

El objetivo de este trabajo es incluir un sistema BCI en el simulador de vuelo disponible, de forma que sea capaz de controlar tareas realizadas por el piloto, únicamente mediante ondas cerebrales. Para ello, se realizará una integración de ambos sistemas: el BCI y el simulador. Esta integración permite que el piloto vistiendo un casco equipado con electrodos, realice un control del simulador en tiempo real, únicamente con su actividad eléctrica neuronal, sin necesidad de tocar ningún botón o palanca. La plataforma implementada, permite desarrollar en un futuro, un programa completo de formación en BCI para pilotos de vuelo, donde se pueden investigar qué tareas de pilotaje pueden dejar de hacerse mediante movimientos reales.

Simulación y validación de imágenes ISAR pasivas de embarcaciones en ruta utilizando señales TDT (DESEi+d 2022: 73)

Sandra Gutiérrez Serrano, María Cortés Benito Ortíz, David Mata Moya, María Pilar Jarabo Amores y Anabel Almodóvar Hernández

Este trabajo se centra en el estudio de imágenes ISAR (*Inverse Synthetic Aperture Radar*) de embarcaciones aprovechando la iluminación de señales TDT durante su propio movimiento en escenarios bies-táticos de tráfico marítimo. El objetivo consiste en generar imágenes ISAR a partir de las reflexiones de los blancos deseados adquiridos con el demostrador IDEPAR, un sistema radar pasivo basado en la explotación de señales TDT multicanal desarrollado por el grupo de investigación «Redes de sensores acústicos y electromagnéticos inteligentes y procesado de la señal» de la Universidad de Alcalá, y validar una metodología de simulación de imágenes radar pasivas de gran utilidad para poder definir los requisitos previos necesarios para conseguir resoluciones asociadas a potenciales aplicaciones de interés.

Las prestaciones de un radar pasivo dependen mucho de las señales ofrecidas por el iluminador de oportunidad. Las principales ventajas de las señales TDT son sus potencias elevadas y estables, su alta disponibilidad y sus anchos de banda, independientes del contenido, ampliables mediante la utilización de canales consecutivos para conseguir alta resolución en distancia. Sin embargo, su banda de frecuencias supone una limitación importante para conseguir altas resoluciones también en rango cruzado que solo se puede compensar con una iluminación del blanco durante el tiempo correspondiente a una variación del ángulo de aspecto suficiente. Como primera aproximación, se han generado imágenes ISAR de embarcaciones utilizando plataformas giratorias en entornos controlados. En este trabajo, se propone aplicar técnicas de formación de imágenes ISAR basadas en el conocimiento previo de dinámicas de los blancos en los escenarios esperados. Como punto de partida se utilizan datos adquiridos por el sistema IDEPAR en una campaña de medidas situada en las instalaciones de la Armada en la playa de Torregorda en Cádiz, donde se monitoriza el movimiento de un buque de transporte.

Desarrollo de un simulador de tiro con tecnología inmersiva mediante realidad virtual (DESEi+d 2022: 110)

Xavier Núñez Nieto, Pablo Falcón Oubiña, Francisco Troncoso Pastoriza, Carlos Casqueiro Placer, Miguel Rodelgo Lacruz, Iván Puente Luna y Lara Febrero Garrido

La tecnología digital de vanguardia, asociada a la cuarta revolución industrial, está transformando la forma de entender las Fuerzas Armadas (FAS) de hoy en día. Entre las diferentes metodologías que componen dicho universo tecnológico y ayudan a definir el novedoso concepto de Ejército 4.0 se encuentra la realidad virtual (RV). Esta técnica adquiere especial relevancia para el mundo militar, debido a las innumerables posibilidades que ofrece dentro del campo de la simulación del entorno de combate. Así pues, se plantea el presente trabajo, atendiendo a las líneas de interés descritas en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID). La propuesta consiste en el modelado fotorrealista de un escenario virtual, concebido para simular de manera inmersiva el adiestramiento militar de tiro con rifle. Para ello, se emplearán diversas técnicas concurrentes y vinculadas a la moderna Industria 4.0: diseño asistido por ordenador (DAO), inteligencia artificial (IA) e impresión 3D (i3D).

Diseño y fabricación de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego (DESEi+d 2022: 243)

Isaac Troya, Pablo Falcón y Xavier Núñez Nieto

Los simuladores de combate son cada día más utilizados para el adiestramiento de las unidades militares. Los simuladores con tecnología de realidad virtual tienen como objetivo recrear un entorno y unas condiciones de combate lo más realistas posible. Para ello, no solo es necesario simular un entorno 3D realista, también es necesario dotar a los simuladores de dispositivos que permitan al usuario interactuar con el entorno virtual del mismo modo que se haría en el entorno real, proporcionando al usuario una mayor sensación de inmersión en el entorno virtualizado. En este trabajo se expone el proceso de diseño y fabricación mediante técnicas de fabricación aditiva de un dispositivo físico para la simulación de disparo de un arma de fuego. El dispositivo fabricado simula fielmente el fusil HK G36E, arma que utilizan los alumnos en la Escuela Naval Militar para hacer los ejercicios de disparo. Además de cumplir con las dimensiones, la distribución de pesos y la manejabilidad del fusil real, el dispositivo fabricado permite interactuar con un simulador para recrear virtualmente situaciones en las que un combatiente requiere el uso del arma, adquiriendo una experiencia real y minimizando los riesgos a los que el usuario se expone.

DESE



1 1.4. Aplicación a defensa de avances en tecnologías TIC



Planificación de rutas para múltiples drones usando redes neuronales profundas *Transformer* (DESEi+d 2022: 137)

Daniel Fuertes, Carlos Roberto del Blanco, Fernando Jaureguizar, Juan José Navarro y Narciso García

Una de las etapas más críticas del control y navegación de drones (UAV/RPAS) es la planificación de rutas. En la actualidad, dicha tarea es esencial en aplicaciones de búsqueda y rescate o en el futuro sistema aéreo de combate, donde un dron necesita planificar una ruta que minimice la distancia de vuelo entre un conjunto de localizaciones para poder maximizar el número de zonas visitadas, todo ello sujeto a restricciones operativas, tales como el uso de batería o combustible. Esta tarea, ya de por sí compleja, se complica aún más para el caso de múltiples drones, donde la cooperación y coordinación entre toda la flota es necesaria. En este trabajo se propone un sistema automático de creación de rutas para múltiples drones usando técnicas de aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo. El sistema divide el problema de enrutamiento en dos fases: planificación inicial y ejecución de la misión. Durante la planificación inicial, se realiza una agrupación de las regiones a visitar, siguiendo un criterio de distancia, y una asignación de dichas agrupaciones de regiones a cada vehículo. En la fase de ejecución de la misión, se estima la mejor ruta para cada agente mediante un Transformer, una arquitectura de red neuronal de última generación basada en el aprendizaje por refuerzo profundo y en los modelos de redes de atención. Esta arquitectura es capaz de obtener soluciones precisas y mucho más rápidas que los algoritmos de optimización convencionales. Para mostrar los beneficios de la solución propuesta, se han realizado varias pruebas y comparaciones con otros algoritmos de optimización combinatoria, incluyendo escenarios cooperativos y no cooperativos.

Ensayos PNT orientados a la resiliencia de sistemas de seguridad y defensa (DESEi+d 2022: 203)

Miguel Gómez López y Jesús Sánchez García

Las tecnologías de posicionamiento, navegación y tiempo (PNT) son un componente tecnológico clave en los nuevos vehículos y plataformas no tripulados. Ya sea porque se necesite robustez frente a interferencias o rendimiento en entornos desafiantes, las pruebas en laboratorio y en el campo le permiten mejorar la precisión, la integridad, la continuidad y la fiabilidad de estos sistemas.

Este artículo cubre los aspectos relacionados con campañas de prueba realistas y significativas, con énfasis especial, en técnicas de aumento de la resiliencia para subsistemas de navegación de vehículos no tripulados. La estructura de laboratorio propuesta para ensayos PNT está equipada, en cuanto a la parte de posicionamiento y navegación, con una plataforma giratoria capaz de someter el dispositivo bajo prueba a varias rotaciones sostenidas, un simulador GNSS capaz de proporcionar el contexto de posición y tiempo, y un bus de tiempo real que sincroniza los elementos a un nivel que permite pruebas de «*Hardware In the Loop*» (HWIL). Esto se complementa con otros simuladores específicos, según la plataforma de destino en particular (generadores de termoesenas para cámaras de infrarrojos y/o pantallas para cámaras visibles).

En cuanto a la dimensión de sincronía o *tiempo*, se muestra el trabajo realizado en la evaluación de comportamiento de diferentes sistemas de comunicaciones o inhibición cuando la señal GNSS es degradada o denegada durante distintos periodos de tiempo.

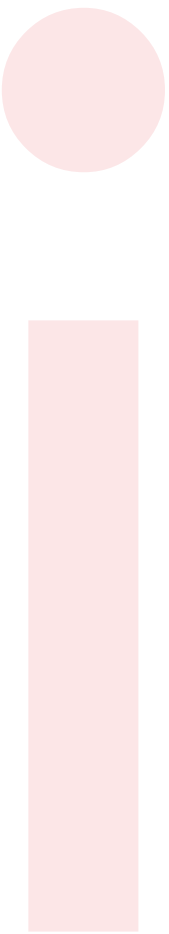
Estado del arte de los amplificadores de potencia CMOS para antenas activas matriciales (DESEI+d 2022: 248)

Francisco Aznar, Miguel García Bosque, Antonio Dionisio Martínez Pérez, Carlos Sánchez Azqueta y Santiago Celma

La tecnología CMOS en silicio es la tecnología microelectrónica predominante debido a su imbatible superioridad en términos de reducción de consumo para las implementaciones digitales. En los últimos años ha evolucionado vertiginosamente hacia tamaños nanométricos para la dimensión del nodo tecnológico, propiciando que esta tecnología consiga características competitivas para aplicaciones en la banda milimétrica Ka (24-30 GHz), comparando con otras tecnologías microelectrónicas de mayor coste. En los próximos años, las comunicaciones satélite, la implantación del 5G y los radares en vehículos requieren del despliegue masivo de antenas activas matriciales, las cuales están basadas en una matriz de centenares de elementos radiantes activados individualmente por su correspondiente amplificador de potencia. Los estándares de comunicación asociados requieren al amplificador de potencia unas especificaciones muy exigentes, que tradicionalmente se han alcanzado con tecnologías distintas a CMOS en silicio. Sin embargo, la implementación del amplificador de potencia diseñado para la banda Ka junto al resto de componentes (mezcladores, desplazadores de fase, etc.) para el control digital del haz radiado en tecnología CMOS en silicio habilita la reducción de costes y, por lo tanto, el despliegue masivo de antenas activas, tanto para aplicaciones civiles como militares. El salto tecnológico resultante habilita nuevas capacidades en el ámbito de la defensa y seguridad. En esta contribución, se propone una métrica comparativa de amplificadores de potencia integrados en tecnología CMOS nanométrica en silicio, comparando las especificaciones obtenidas por varias arquitecturas propuestas frente a otras tecnologías, y visualizando la evolución de los progresos en las características esenciales, tales como: frecuencia de operación, ganancia, potencia de salida y eficiencia en potencia. Por lo tanto, se comprobará la capacidad y limitaciones de la tecnología CMOS en silicio actual para satisfacer los estándares de comunicación en banda Ka y se proponen soluciones tecnológicas y de diseño para su progresiva implantación.

DESE

Área 12:
Ciberdefensa



DESE



12.1. Automatización de acciones ante ciberataques



Caracterización físico-digital de infraestructuras críticas para detección, categorización y predicción automatizada de ciberataques (DESEi+d 2022: 42)

Álvaro García, Cristian Velasco y Enrique Rodríguez

La variabilidad e intensidad de los ataques que comprometen redes y sistemas estratégicos, suponen nuevos retos para la seguridad. El aumento de la exposición de los contextos de operación y ejecución de procesos automatizados en infraestructuras críticas, plantea la necesidad de contar con escenarios de investigación que ofrezcan métodos de ciberdefensa capaces de hacer frente a la aparición de nuevas amenazas de forma adaptativa, relacionadas con la introducción progresiva de las tecnologías digitales conectadas en entornos operacionales. En ese sentido, las campañas de ciberataques dirigidos a infraestructuras críticas se han convertido en una de las principales preocupaciones debido al grave impacto causado por las intrusiones, tanto a los procesos operativos, como a la continuidad de infraestructuras y servicios esenciales para la población (energía, transporte, agua, salud, etc.). Además, la detección tradicional de ciberamenazas en entornos de operación se ha basado mayoritariamente en metodologías de aprendizaje reactivas, con incidentes de alto impacto. Sin embargo, la investigación de nuevas metodologías de caracterización y representación físico-digital de procesos y servicios sobre entornos reales conectados, donde estudiar y catalogar anomalías, se presenta como una alternativa esperanzadora para detectar, extraer y modelar amenazas de forma proactiva. Con este trabajo se pretende generar estrategias de aprendizaje predictivo dirigidas a la ciberdefensa de infraestructuras críticas. Aborda la caracterización y representación de entornos reales conectados sobre un enfoque de gemelo digital de la infraestructura y sus servicios. Con la monitorización de anomalías y triangulación de huellas extraídas de las ciberamenazas registradas en una herramienta SIEM, se generan bases de datos de conocimiento experto categorizadas a partir de la asociación de patrones de tácticas, técnicas y procedimientos. Por otra parte, este enfoque innovador aplica estrategias de análisis inteligente con la caracterización de las propiedades operacionales y el comportamiento que se obtiene de un entorno estratégico cuando se encuentra expuesto.

La gestión de ciberincidentes en el ámbito de la prestación de los denominados servicios esenciales (DESEi+d 2022: I 34)

Ángel Tomás Ledo Iglesias

La sociedad actual no puede prescindir para su desarrollo y funcionamiento de los recursos, que en forma de productos y servicios, le proveen las tecnologías de la información y las comunicaciones (en adelante TIC). Igualmente, la sociedad precisa de unos servicios para la ciudadanía que son fundamentales para su funcionamiento, servicios como la educación, la sanidad, las telecomunicaciones o el acceso a la energía, entre otros, son indispensables para su buen funcionamiento.

En este trabajo de investigación se pretende como objetivos generales identificar los distintos servicios esenciales y aquellos incidentes cibernéticos que pueden afectarlos.

Como objetivos específicos se pretende ahondar en el conocimiento de la ocurrencia de los ciberincidentes que pueden afectar a los servicios esenciales y cómo gestionar dichos incidentes para minimizar los daños, prevenir su no ocurrencia futura y maximizar los recursos empleados en el tratamiento de los incidentes, coordinándose con aquellos agentes implicados para poder volver a una situación de normalidad.

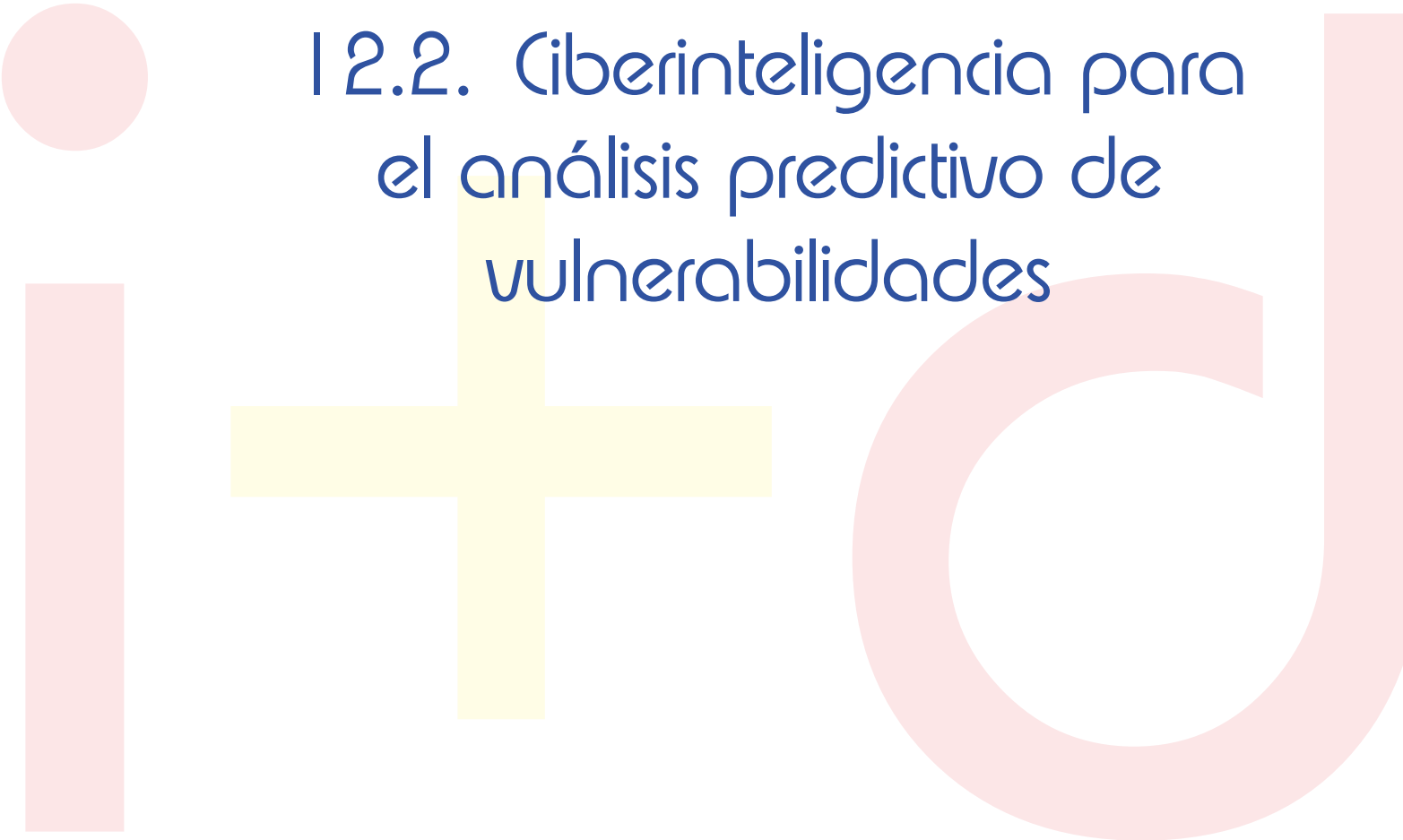
La metodología seguida en este trabajo consiste en el estudio documental, que partiendo de una bibliografía básica general, conduzca a una bibliografía específica y particular, de referencia más completa. Tanto desde el punto de vista técnico, tecnológico y normativo.

Se cuenta con estudios estadísticos de distintas fuentes tanto nacionales como internacionales del ámbito público y privado. También se han realizado entrevistas con expertos desde el punto de vista tecnológico y operadores jurídicos.

En este estudio se considera, la asunción de incidentes (provocados o no) que pueden darse en la prestación de los servicios esenciales, más concretamente en la utilización de los medios TIC, estaríamos hablando de los ciberincidentes, que atentan contra la ciberseguridad y la ciberdefensa.

Concluyendo en cómo deben realizarse la planificación, detección, reacción y cierre de estos ciberincidentes y su gestión, desde el punto de vista de las organizaciones encargadas de los servicios esenciales.

DESE



12.2. Ciberinteligencia para el análisis predictivo de vulnerabilidades



Modelado de sistemas ciberfísicos para análisis de vulnerabilidades (DESEi+d 2022: 251)

Mónica Alonso Martínez, Ángel Tomás Ledo Iglesias, Hortensia Amaris Duarte y Jaime Turanzas Solivellas

Las redes eléctricas son una de las máquinas más complejas desarrolladas por el hombre, y de ellos depende la mayor parte de la actividad física y económica del mundo. Mantener un suministro continuado y de calidad en sectores como la seguridad, salud, alimentación, telecomunicaciones, transporte y financiero es de vital importancia para el desarrollo de la sociedad. Es por tanto necesario considerar las redes eléctricas como infraestructuras críticas, encargadas de proveer los servicios esenciales a los ciudadanos, siendo responsabilidad de los Estados su protección.

Desde 2003 se han venido sucediendo diferentes fallos en el funcionamiento de las redes eléctricas a lo largo del mundo que han demostrado la vulnerabilidad de las actuales redes eléctricas inteligentes o *smart grids* a los ciberataques. Nos encontramos por tanto ante el reto de desarrollar redes seguras, robustas y resilientes, capaces de garantizar la continuidad del suministro eléctrico manteniendo unos estándares de calidad frente a ciberataques, siendo la detección de vulnerabilidades una de las principales herramientas.

En este contexto, este artículo presenta una metodología para modelar la naturaleza ciberfísica de las redes eléctricas inteligentes y realizar un análisis de vulnerabilidades en *smart grids* frente a ciberataques. La metodología planteada emplea la *multilayer network* para representar fielmente la realidad ciberfísica de las *smart grids*. El modelo holístico desarrollado para representar la red cubre las deficiencias existentes en el análisis de vulnerabilidades de las *smart grids* basados exclusivamente en las redes físicas OT. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de la *multilayer network* para determinar los nudos más vulnerables del modelo ciberfísico ante ciberataques en comparación con los modelos tradicionales que emplean únicamente las redes OT. La metodología propuesta puede ser empleada para representar y analizar las vulnerabilidades de otros sistemas ciberfísicos.

DESE



2.3. Tecnología en apoyo a ciberoperaciones



Orquestador de despliegue de infraestructura en la nube (ODIN) (DESEi+d 2022: 93)

Ángel Manuel Guerrero Higuera, Vicente Matellán, Francisco J. Rodríguez Lera, Adrián Campazas Vega e Ignacio Samuel Crespo Martínez

El orquestador de despliegue de infraestructura en la nube (ODIN), es una plataforma basada en inteligencia artificial (IA) que permite desplegar automáticamente infraestructuras informáticas en proveedores en la nube asegurando el máximo anonimato. El prototipo lo está desarrollando un equipo de investigadores de la Universidad de León y está dirigido y financiado por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), siendo el Mando Conjunto de Ciberespacio (MCCE) quien ostenta la dirección técnica.

ODIN permitirá desplegar y operar infraestructura en la nube basada en diferentes sistemas operativos; entre ellos, diferentes versiones de MS Windows y de las distribuciones Linux más usuales. El prototipo empleará para ello los servicios de diferentes proveedores de infraestructura en la nube, de forma independiente o combinada. Entre los proveedores utilizados estarán Microsoft Azure, Amazon Web Services, IBM Cloud, Google Cloud, Red Hat Cloud Infrastructure y Alibaba Cloud.

El prototipo implementará diferentes mecanismos de anonimización, de forma independiente o combinada, e.g. TOR o Zeronet. También será capaz de emplear métodos de pago que aumenten el nivel de anonimización en el despliegue, incluyendo el empleo de criptomonedas: Bitcoin, Ethereum, etc.

La eliminación de la infraestructura desplegada se realizará de la forma más rápida posible, impidiendo revelar (siempre respetando la legislación aplicable) su atribución y su actividad.

Todo el proceso de despliegue será gestionado de manera automática por un algoritmo basado en IA con el objetivo de asegurar el máximo anonimato, dificultando todo lo posible conocer las variables *quién soy, dónde estoy y qué hago*. Además, el prototipo dispondrá de una consola de mando y control, accesible vía web, con una interfaz hombre-máquina todas las funciones de control, supervisión, monitorización, configuración, parametrización y visualización.

Aplicación de S-SDLC a aplicaciones *software* de defensa (DESEi+d 2022: 117)

Mónica Arribas Serrano

Habitualmente los sistemas de información militares se ejecutan en redes aisladas, cuya securización típica es de nivel físico. Esto lleva a olvidar en muchos casos otros niveles de protección del *software* depositando una confianza no justificada en la seguridad de estos sistemas.

Con objeto de incrementar la seguridad en las aplicaciones *software* de mando y control militar el presente artículo define y propone aplicar un ciclo de vida de desarrollo seguro de *software* (S-SDLC). Para ello, se han implementado las actividades de modelado de amenazas sobre la arquitectura de la aplicación con la herramienta Microsoft Threat Modeling Tool; auditoría de código de la aplicación con la herramienta Fortify SCA; y, ejecución de pruebas de penetración de la aplicación con las herramientas Nessus, Spike y Wireshark, siendo estas para escanear vulnerabilidades conocidas y para realizar pruebas de *fuzzing* respectivamente.

Al aplicar el S-SDLC es posible detectar las vulnerabilidades del sistema antes de su puesta en producción, mejorando la seguridad a nivel de arquitectura, código y ejecución de las aplicaciones *software* de apoyo al mando y control militar. El proceso propuesto es extensible a todas las aplicaciones y permitirá mejorar la protección de los mismos frente a las amenazas antes de su despliegue y puesta en servicio.

Testbed para defensa ante amenazas híbridas contra redes eléctricas (DESEi+d 2022: 224)

José Saldana, Esteban Gutiérrez Mlot y Aníbal Prada Hurtado

La guerra de Ucrania está dejando clara la importancia estratégica de la energía. De hecho, es probable que el nuevo documento estratégico de la OTAN, pendiente de aprobación en junio de 2022, incluya la defensa de las redes energéticas como una de sus prioridades operativas.

En este artículo se presenta un *testbed* que permite realizar pruebas híbridas, uniendo la infraestructura eléctrica con la parte cibernética. El *testbed* se está desarrollando dentro de los proyectos EPICS (Edge Protection and Intelligent Control Solution), con REDEIA (Grupo Red Eléctrica), y H2020 FAR-CROSS. Permite emular sistemas eléctricos con escalabilidad, para realizar análisis de instalaciones aisladas para bases, conexión dedicada de alta tensión de instalaciones críticas o zonas extensas de la red.

El *testbed* cuenta con elementos de medida, como PMU (*Phasor Measurement Units*), relés de protección, relojes GPS y un controlador en tiempo real que implementa algoritmos de protección de área extensa. También integra la *SecureBox*, un dispositivo embebido ciberseguro que incluye medidas de seguridad como un sistema de detección de intrusos. El *testbed* permite por tanto la realización de pruebas en las que se combinen fallos de la red eléctrica con ciberataques, para así evaluar ambos de forma simultánea.

También permite poner a prueba la seguridad de las configuraciones de los algoritmos de área extensa: en la actualidad muchos países están desplegando sistemas WAMPAC (*Wide Area Monitoring Protection and Control*), que envían información sobre el estado de la red, a un ordenador central donde corren los algoritmos de protección. Un ataque exitoso a uno de estos sistemas podría tener consecuencias muy graves en amplias zonas, por lo que su protección es especialmente importante. Finalmente, se debe comprobar la privacidad y seguridad de la información sobre el estado de la red eléctrica que circula por Internet, pues podría ser utilizada por un potencial atacante.

DESE



12.4. Criptografía para
incrementar la seguridad de
las comunicaciones



Mejora de la eficiencia de funciones no-clonables físicamente integrando líneas de retardo programables (DESEi+d 2022: 25)

Guillermo Díez Senorans, Miguel García Bosque, Francisco Aznar, Carlos Sánchez Azqueta y Santiago Celma

El avance en la tecnología de fabricación de circuitos integrados ha permitido un ecosistema de información en el que participan un gran número de dispositivos interconectados capaces de generar datos, almacenar y transmitir información en la red; el teléfono móvil con conexión a Internet (smartphone), o los sistemas de sensores con acceso a la red (Internet de las cosas - IoT) son ejemplos paradigmáticos. El reducido esfuerzo material necesario para vulnerar estos sistemas los convierte en elementos sensibles para la seguridad nacional, tanto en el contexto de las amenazas híbridas ejercidas por terceros Estados como en escenarios de conflicto asimétrico con agentes no estatales (e.g., terrorismo, crimen organizado); por todo ello, proteger la información que circula por estas redes debe ser un objetivo prioritario. Sin embargo, las características físicas de estos dispositivos imponen dos condiciones que dificultan la aplicación de las técnicas habituales de seguridad informática: (i) la posibilidad de que un atacante disponga de acceso físico al terminal, y (ii) la energía y superficie de silicio disponible para la ejecución de algoritmos criptográficos está muy restringida. En este trabajo analizamos el desempeño de funciones no-clonables físicamente (PUF) configurables basadas en osciladores de anillo en FPGA; estos circuitos digitales, fabricados sobre varios chips, responden de manera diferente a un mismo estímulo debido a los defectos nanométricos inherentes al proceso de fabricación de los dispositivos semiconductores, lo cual hace del circuito una primitiva criptográfica a nivel de capa física capaz de autenticar unidades en una red de comunicaciones (de modo análogo a la autenticación biométrica). En este trabajo utilizaremos líneas de retardo programables (PDL) para incrementar el número de estados internos de las celdas constitutivas de la FPGA (*Look Up Tables* - LUT), logrando así optimizar la extracción de entropía del proceso de fabricación y diseñar PUF más eficientes y compactas.

Estrategias de selección de osciladores en una PUF de oscilador de anillo para optimizar su comportamiento (DESEi+d 2022: 244)

Miguel García Bosque, Raúl Aparicio, Guillermo Díez Señorans, Francisco Aznar Tabuena, Carlos Sánchez Azqueta y Santiago Celma

Las funciones no-clonables físicamente (PUF) han cobrado gran interés en los últimos años debido a su posible uso en el ámbito de la criptografía, concretamente, en aplicaciones de identificación, generación segura de claves, y almacenamiento seguro de claves. Estas aplicaciones tienen una especial importancia en el ámbito militar donde es imprescindible garantizar la seguridad de las comunicaciones así como la correcta autenticación de personas y dispositivos. En este trabajo, se ha llevado a cabo un análisis sobre la influencia de las ubicaciones elegidas de los osciladores en anillo en el desempeño de una PUF de oscilador en anillo. Para ello, se ha implementado un gran número de osciladores de anillo idénticos en una FPGA y se ha medido la frecuencia de cada uno de ellos. A continuación, se han propuesto y comparado experimentalmente cinco estrategias diferentes para seleccionar un pequeño conjunto de ubicaciones a partir de un gran conjunto de ubicaciones para construir una PUF basada en la técnica de medida compensada. El análisis refleja que, dependiendo de la estrategia de selección elegida, la calidad de la PUF puede verse muy afectada, especialmente en términos de unicidad. Finalmente, se ha implementado en una FPGA una PUF basada en la mejor de las estrategias, demostrando que cumple las propiedades de reproducibilidad, unicidad e identificabilidad y, por tanto, puede usarse en aplicaciones de identificación y autenticación.

DESE

**Área 13:
Sociedad,
economía y
humanidades**

DESE



13.1. Modelos socioeconómicos



Implantación del camino ascendente de Analytics en beneficio de la gestión de personal (DESEi+d 2022: 74)

Raúl Rodríguez Sánchez, Jorge Antonio Lanzas Zambrana, Carolina Mancebo Ortiz, Miguel Ángel Solomando Lastra y María Nieves Santamaría Estévez

Uno de los principales condicionantes del Ministerio de Defensa (MDEF) para cumplir sus cometidos es el limitado y decreciente personal disponible.

El Mando de Personal (MAPER) del Ejército del Aire (EA) está implementando un camino ascendente, basado en *Data Analytics*, para poder alcanzar mejoras y asegurar el máximo desempeño posible de su misión con los recursos disponibles: 1) evolucionando en la automatización de estudios, cálculos recurrentes o procesos fundamentados en datos, pasando de ser desarrollados manualmente o de forma ineficiente, a un tratamiento masivo, automatizado y transparente; 2) ampliando la visión retrospectiva y meramente descriptiva (¿qué está ocurriendo?), a un análisis de situaciones más o menos complejas (¿por qué ha ocurrido?) hasta ir avanzando y alcanzando el poder de responder a preguntas predictivas (¿qué ocurrirá?) o incluso prescriptivas (¿qué, cuándo, por qué va a ocurrir y que debo hacer?). Esto supone una auténtica optimización y transformación que permite sugerir decisiones que aprovechen las predicciones, así como una mayor eficiencia de la fuerza de trabajo.

El empleo de *Analytics* se ha basado en el uso sistemático de datos, matemáticas, simulación, optimización, técnicas descriptivas y modelos predictivos para obtener valiosos conocimientos de los datos que son utilizados para recomendar acciones, automatizar la selección de zona de evaluación u orientar la toma de decisiones en la gestión de personal, como apoyo a su principal cometido.

La aplicación de diversas tecnologías y herramientas TIC, tales como Business Intelligence, Data Warehouse, Machine Learning, Portal Colaborativo, Simulaciones u Optimizaciones han soportado el ascenso por cada uno de los peldaños, los cuales serán detallados para otras organizaciones que planeen desarrollar acciones similares, como mecanismo para ser más competentes y exitosas en la gestión de los recursos humanos.

Este camino ha sido recorrido por el MAPER EA en colaboración con Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España (ISDEFE).

Tecnología, innovación y economía: repensando su papel para las Fuerzas Armadas del siglo XXI (DESEi+d 2022: 103)

Silvia Vicente, Antonio Fonfría Mesa y Guillermo López Rodríguez

La dimensión correspondiente a las cuestiones relacionadas con tecnología, industria y economía de la defensa (TIE) comprende los temas relativos a las cuestiones tecnológicas y su posible desarrollo futuro, la percepción de la política industrial de defensa en sus acciones reales y el presupuesto destinado a defensa en España con sus peculiaridades.

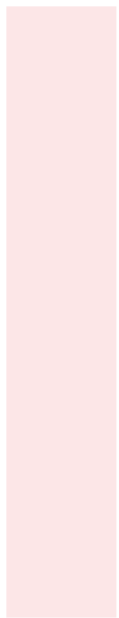
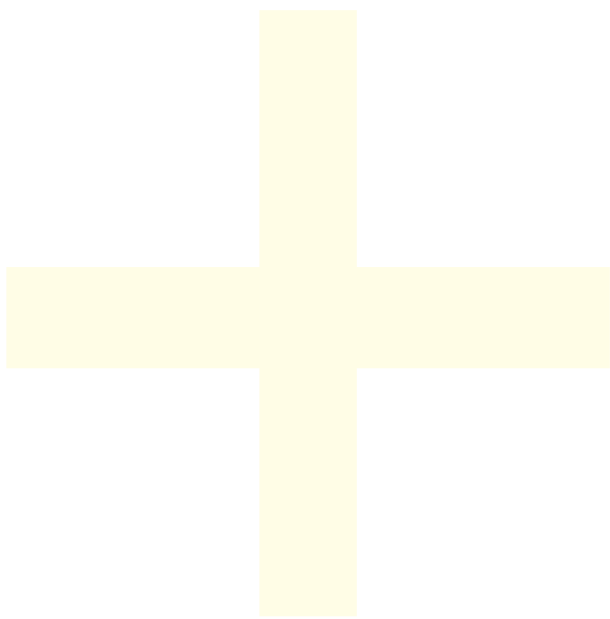
Mediante un trabajo de campo, durante los últimos meses (2021 y 2022) se entrevistó a élites políticas, empresariales y militares sobre cuestiones TIE como los Presupuestos Generales del Estado (PGE) en su naturaleza y forma de financiar algunas cuestiones que los últimos años han sido espinosas: misiones internacionales, planes de adquisición o plurianualidad de algunas partidas; así como cuestiones relativas a la política industrial de defensa y al equilibrio entre la base industrial y tecnológica de la defensa española y europea.

Las principales conclusiones sobre la discusión TIE entre élites, así como aspectos para repensar el papel de las Fuerzas Armadas del siglo XXI en España se presentarán de manera agregada, así como distinguiendo por grupos, que con sus actuaciones e intereses marcarán el siglo XXI.

DESE



13.2. Instrucción y educación





Scrum y la física de explosivos. Una metodología de aprendizaje (DESEi+d 2022: 6)

Antonio Cantero Obregón

Scrum, más que una metodología, es un modelo de proceso empírico basado en las personas y en cómo se pueden organizar entre ellas en forma de equipos. Estos deben enfrentarse a retos y resolver los problemas que se van encontrando, revisando su comportamiento y procediendo a su adaptación de forma continua.

En cuanto a la física de explosivos, esta analiza el comportamiento de un explosivo desde el punto de vista de la física, en especial el estudio de las ondas de choque.

Unir ambas prácticas nace de la experiencia como profesor impartiendo la asignatura de Física de Explosivos. Tras explicar la asignatura otros años mediante la metodología de la clase magistral y observar la implicación de los alumnos en el desarrollo del curso, me planteé innovar y aplicar *scrum* combinado con el método de estudio del caso como manera de implicar al alumno de forma activa en el proceso de aprendizaje.

A través del artículo se desarrolla una forma de implicar al alumno en el aprendizaje de la asignatura mediante su trabajo en equipo y sometido a retos constantes.

Manual operativo del sistema de análisis de validez en la evaluación (MOSAVE) (DESEi+d 2022: 37)

Antonio Domínguez Muñoz, Lucía Pery Pardo De Donlebún, José Manuel García-Rodrigo Vivanco, Rafael M. López Pérez y Ángel García Collantes

Presentamos el Manual operativo del sistema de análisis de validez en la evaluación (MOSAVE); resultado de la investigación multidisciplinar en análisis de conducta en el contexto de la Fundación Universitaria Behavior & Law, la Cátedra de Análisis de Conducta de la UDIMA y el Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas (CIFAS), entre otros. Se ha elaborado en cumplimiento de los objetivos del grupo PsycInt, creado el 15 de abril de 2015 para desarrollar un nuevo ámbito de estudio que han dado en denominar inteligencia psicológica o, en su acepción anglosajona, *Psychology Intelligence (PsycInt)*.

Dividido en cuatro partes y doce capítulos, el MOSAVE describe una metodología sencilla y versátil para llevar a cabo el análisis de conducta en la práctica diaria de los diversos ámbitos en los que este sea de interés; investigaciones criminológico-penales (testificales, entrevistas de investigación...), fraude en sus diversos entornos, incluida la simulación médico-sanitaria militar, así como en ámbitos de inteligencia militar, civil o policial. Específicamente, SAVE permite tomar sin demora decisiones difíciles, relacionadas con personas concretas, en un contexto de elevada incertidumbre como los ya descritos.

Avanza en la línea de investigación presentada en DESEi+d 2018 con el objetivo de exponerla, en forma de manual, a la comunidad científica militar, usando metodología de revisión bibliográfica e innovación operativa como base para un análisis de conducta científico. Esperamos ampliar su aplicación y su crítica para su desarrollo en el sector de la defensa y la seguridad. Proponemos múltiples áreas de potencial aplicación en diversos campos militares (justicia, sanidad, régimen disciplinario, etc.) además del de especial interés; la inteligencia militar, siendo el CIFAS el «órgano responsable de facilitar al ministro de Defensa, la inteligencia militar precisa para alertar sobre situaciones de interés militar, procedentes del exterior», destacando entre sus funciones la obtención de información usando fuentes humanas (HUMINT).

Desarrollo de modelos de evaluación de la complejidad, aprendizaje y desempeño en el entorno de simuladores NAVANTIS (DESEi+d 2022: 143)

Manuel L. González, Rodrigo Sedano, Germán Fuentes, José M. Luquero y Javier Sedano

Navantia lleva varios años trabajando en el desarrollo de una nueva familia de productos llamada NAVANTIS, para el Adiestramiento 4.0.

Este incluye la exploración, desarrollo y empleo de algoritmos de IA y la aplicación de *big data* y *Analytics* para apoyar al profesor en el análisis del desempeño de los alumnos cuando realizan ejercicios de adiestramiento sobre un simulador. Para tal fin, se contrató una consultoría al ITCL para su investigación.

En el presente artículo se presentan los resultados de la investigación realizada, a partir de: (i) la definición del concepto de complejidad de una simulación ejecutada en el entorno de los simuladores NAVANTia Training Integrated System (NAVANTIS), productos y servicios de apoyo al adiestramiento en la operación y/o mantenimiento de los sistemas de Navantia durante la fase de explotación de los mismos, (ii) el concepto del desempeño del alumno con respecto a dicha simulación y (iii) el concepto del aprendizaje del alumno tras diferentes simulaciones.

Por consiguiente, el artículo presenta los tres modelos que han sido desarrollados, a partir de los estudios de complejidad, desempeño del alumno y aprendizaje del alumno. Primeramente, la complejidad se ha caracterizado mediante categorías que, en cada una de ellas, de modo que puedan clasificarse por clases distintas simulaciones con curvas de dificultad por índices similares; seguidamente, el desempeño del alumno se ha calculado con respecto a estas curvas de dificultad pues el alumno, con sus acciones, puede modificar el estado de la simulación y finalmente, el aprendizaje del alumno se ha determinado mediante la variación del desempeño a medida que el alumno realiza diferentes simulaciones de la misma o distinta complejidad. Para la resolución de los modelos se han propuesto técnicas de IA para la detección de patrones, fórmulas pesadas y espacios vectoriales.

Actuación y formación de la Guardia Civil en delitos por sumisión química con víctimas menores de edad (DESEi+d 2022: 178)

Raquel Herrero López

El incremento de los delitos facilitados por sumisión química y su elevada cifra negra suponen un desafío para la Guardia Civil, enfrentándose a diversos obstáculos adicionales cuando la víctima es menor de edad.

Para determinar si el protocolo de actuación en delitos por sumisión química debe ser adaptado a la realidad social actual se ha llevado a cabo una revisión de tipo documental y entrevistas con personal especializado de la Unidad Técnica de Policía Judicial (UTPJ), confirmando la hipótesis planteada.

Mediante el análisis del marco regulatorio actual, de los protocolos específicos de actuación y de las principales sustancias químicas intervinientes se ha verificado la necesidad de sensibilizar a la población más joven en este tipo de delitos. Además, se ha realizado una propuesta de guía informativa para la formación del primer agente, incluyendo todos los aspectos relevantes para su intervención inmediata.

Diseño del casco de un submarino de propulsión humana para competición (DESEi+d 2022: 186)

Iván Elejabeitia Moreno, Pedro Carrasco Pena y Carlos Pérez-Collazo

Desde principios de la década de los 90, diferentes instituciones internacionales han venido organizando carreras de submarinos de propulsión humana que enfrentan a estudiantes universitarios de todo el mundo. Estas son la International Submarine Race y la European International Submarine Race, regatas estas que tienen lugar en los Estados Unidos y en el Reino Unido respectivamente. En estas regatas, los estudiantes deben ser capaces de diseñar y construir un submarino de propulsión humana capaz de competir contrarreloj a través de un recorrido predefinido.

El objetivo de este trabajo es dar los primeros pasos para la construcción de un submarino de propulsión humana capaz de participar en estas competiciones representando al CUD-ENM. La participación de los futuros oficiales de la Armada en estas competiciones contribuirá como un valor añadido de su formación, tanto en valores como en destrezas técnicas, por la necesidad de integrar múltiples disciplinas en la elaboración del submarino como en la formación de espíritu de grupo fundamental en las FAS. Con el fin de avanzar en este sentido, el presente trabajo presenta el diseño de la carena del casco de un submarino de propulsión humana.

Uno de los parámetros críticos en el diseño de este tipo de submarinos, es la disminución del coeficiente de arrastre de la carena del casco, así como el análisis de los requerimientos de espacio y ergonomía del piloto. Para ello, se ha revisado el estado del arte, identificando las características comunes de diseños anteriores y valorando las necesidades de propulsión y ergonomía para el piloto. En base a los resultados de este estudio se han definido el conjunto de parámetros iniciales para definir la geometría de la carena, la cual se ha sometido a un proceso de optimización empleando el paquete de mecánica de fluidos computacional Ansys FLUENT.

Implementación de la metodología Design Thinking en la materia de Expresión Gráfica en grados de ingeniería (DESEi+d 2022: 196)

María Elena Arce Fariña, Andrés Suárez García, Miguel Ángel Álvarez Feijoo, Rosa Devesa Rey y Francisco Zayas Gato

Crear experiencias de aprendizaje a través de proyectos en el aula en las que los alumnos aprendan en equipo a resolver problemas complejos y desarrollen el pensamiento creativo y crítico, resulta un desafío. En la asignatura de Expresión Gráfica, dentro de tres titulaciones del ámbito STEAM —Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, Grado Dual en Ingeniería Eléctrica y Grado Abierto en Ingeniería Industrial— impartidas en la Universidad de A Coruña, se ha incorporado una actividad empleando la metodología *Design Thinking* con un enfoque de aprendizaje servicio. El objetivo de la actividad propuesta es que el alumnado aprenda conceptos asociados al diseño, modelado e impresión 3D de productos, a la vez que se generan recursos útiles para un problema identificado en su entorno social. En este trabajo se describe la metodología seguida, y se cuantifica, a través de encuestas, la opinión del alumnado. En esta experiencia, en la que participaron estudiantes de primer curso, se desarrollaron un total de 18 proyectos. Los resultados obtenidos fueron muy positivos.

Propuesta de programa de Doctorado en Tecnología de doble uso y sistemas de gestión en seguridad y defensa por la Universidad Politécnica de Cartagena (DESEi+d 2022: 221)

Germán Rodríguez Bermúdez, Antonio Vuedma Robles y Carmelo Nicolás Madrid García

En 2021, La Orden DEF/375/2021, de 21 de abril, aprueba las directrices generales para la ordenación de la investigación y la transferencia del conocimiento en los centros universitarios de la defensa y, su disposición general quinta, establece que, en los CUD, se podrán impartir estudios conducentes a la obtención de títulos oficiales de doctor.

Las tecnologías de doble uso son aquellas que presentan aplicaciones tanto de tipo militar como civil. Esa es la razón de ser de la propuesta de este programa de doctorado, que profundiza en la citada orden, y que se plantea: combinar profesores doctores experimentados en la investigación científica y tecnológica con militares y civiles interesados en la I+D en tecnologías que puedan tener aplicación tanto en el mundo militar como en el civil.

Este trabajo expone los pasos dados y la metodología empleada por el CUD de San Javier y la Universidad Politécnica de Cartagena para el desarrollo del programa de Doctorado «Tecnología de doble uso y sistemas de gestión en seguridad y defensa por la Universidad Politécnica de Cartagena» (UPCT). Estos pasos incluyen entre otros: un estudio de la normativa de la Secretaría General de Universidades para definir el perfil de ingreso, un análisis de la normativa existente en la Escuela Internacional de Doctorado (EINDOC) de la UPCT, la convocatoria de reuniones de profesorado CUD para la discusión, configuración y el establecimiento de equipos de investigación y una propuesta de actividades de formación teniendo en cuenta la especial disponibilidad para el servicio a España del personal militar. En este proceso estuvieron implicados además del CUD de San Javier y el delegado de la UPCT, los responsables de Calidad y de la EINDOC de la UPCT. Por último, remarcar que es el primero desarrollado por un CUD.

Implantación y desarrollo de servicios innovadores en las bibliotecas AGM-CUD de los colegios generales y la Biblioteca del CUD-ENM (DESEi+d 2022: 234)

Fco. Javier Vidal Bordes y Ricardo Rodríguez Piñeiro

El objetivo del trabajo presentado es el de dar a conocer la labor realizada por las bibliotecas de los centros universitarios de la defensa de Marín y Zaragoza, en estos doce años de existencia, así como informar de posibles planteamientos de desarrollo futuro de forma que suponga un espacio de reflexión de cara a seguir colaborando e innovando en la prestación de servicios a nuestros usuarios.

Se presentarán y difundirán las experiencias desarrolladas en ambas bibliotecas, en relación con los servicios más destacados que prestan y que pueden servir como base para el intercambio de dichas acciones, como para su implantación, si se considera oportuno, en otras bibliotecas. Por tanto, se hará referencia a aspectos como la formación de usuarios, centrada en la competencia digital que se aplica a la ayuda en la elaboración de trabajos de curso y de fin de grado y que trata de familiarizar con las herramientas de búsqueda académicas, con el acceso abierto, la propiedad intelectual y los derechos de autor, la utilización de repositorios, etc., y en relación con el apoyo a los investigadores, la elaboración de recursos de ayuda a la docencia e investigación, información sobre sexenios de investigación, etc.

Se analizan, asimismo, los resultados obtenidos en la prestación de servicios durante el periodo citado analizando diversos indicadores y se sugieren mejoras en aquellos que presenten más deficiencias, así como la puesta en marcha de servicios innovadores, tales como la introducción de servicios digitales, de consultoría, etc. en el ámbito del apoyo a la docencia e investigación desde el ámbito bibliotecario.

DESE



I 3.3. Geografía, política y
derecho





Análisis de la sensibilidad de las imágenes del satélite PAZ para la obtención de cartografía de tipos de combustible en el CENAD «San Gregorio» (DESEi+d 2022: 48)

Alberto García-Martín, Darío Domingo Ruiz, María Teresa Lamelas Gracia, Juan de la Riva Fernández, Francisco Escribano Bernal, Antonio Luis Montealegre Gracia, Raquel Montorio Llovería y Fernando Pérez Cabello

La Estrategia de Seguridad Nacional 2021, en su capítulo 3, señala a los incendios forestales como uno de los principales riesgos y amenazas en España, tanto en materia de emergencias y catástrofes, como en la de efectos del cambio climático y de degradación del medio natural.

Un aspecto a tener en cuenta para valorar la amenaza del fuego en un territorio es la actividad que en este se desarrolla. Los centros de adiestramiento (CENAD) y los campos de maniobras y tiro (CMT) son las instalaciones que el Ejército de Tierra utiliza para la preparación de sus diferentes unidades. La intensa actividad de tiro convierte a las zonas de caída de proyectiles en verdaderos focos de ignición. Es por ello por lo que se exige la implantación en todos los CENAD y CMT de un plan contra incendios forestales (PCIF) y un protocolo operativo de actuación (POA).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es analizar la utilidad de las imágenes proporcionadas por el primer satélite de observación del Ministerio de Defensa, el satélite PAZ, para obtener cartografía de modelos combustibles, según la clasificación de Prometheus, que permita apoyar el PCIF y el POA en el CENAD «San Gregorio». La metodología se dividió en tres fases: (i) procesamiento de las imágenes del satélite PAZ adquiridas sobre el área de estudio; (ii) creación de parcelas de campo adecuadas para ser relacionadas con las imágenes; y (iii) evaluación de diferentes métodos de clasificación. Los resultados señalan que, si bien las imágenes PAZ no son adecuadas para la obtención de una cartografía de modelos combustibles considerando todas las categorías, debido a la escasa penetración que la banda X tiene en el dosel vegetal, sí lo son para discriminar las coberturas vegetales presentes en el área de estudio: pasto, matorral y arbolado.

Estado del proyecto de desarrollo de un modelo para la materialización de una superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH) (DESEi+d 2022: 115)

José Manuel Quijano de Benito, Carlos González Mejías, Alberto Rodríguez Moreno, Begoña Pérez Gómez, José A. Sánchez Sobrino, Benjamín Casas Pérez, Diego González Aguilera, David Hernández López, Rafael Molina Sánchez, Salvador Espinosa González-Llanos, Silvia Costa González, José Ramón Torres García y Marcos Larrad Revuelto

1. Introducción

El datum de la carta náutica varía de una ubicación a otra. En la actualidad se establece basándose en las mediciones locales del nivel del mar en lugares discretos, en su análisis armónico y en una predicción de mareas de donde es calculada la mínima marea astronómica.

El IHM es responsable por R. D. 1071/2007 de 27 de julio de definir la referencia vertical de la cartografía náutica.

2. Objetivo del proyecto

Desarrollar y poner a disposición pública una superficie georreferenciada, en la que quedaría materializada la referencia vertical náutica en cualquier punto de las aguas españolas.

Los resultados de este proyecto son de interés general para el Estado, por sus múltiples aplicaciones, tales como batimetrías, operaciones anfibas, determinación de línea de costa, operaciones y obras portuarias, determinación de cotas de inundación o gestión de catástrofes, entre otras. Esta nueva superficie de referencia vertical para hidrografía permitirá integrar en la misma referencia los datos de la franja marítimo-costera y aislar las medidas del nivel del mar de los movimientos terrestres.

3. Metodología y resultados

El cálculo de la SRVH se basa en la determinación del cero hidrográfico en cada punto, a partir de datos de modelos hidrodinámicos y de reanálisis disponibles en «*Copernicus Marine Environment Monitoring System*» complementados con información geodésica del IGN, medidas *in situ* de alturas elipsoidales del cero hidrográfico, así como con medidas de niveles del mar con boyas GNSS y mareógrafos. En el proyecto participan las instituciones y organismos coparticipantes en el artículo y como I+D+I se han desarrollado los equipos de medida y el procesado de los datos para validación de resultados.

En 2022 y 2023 se pretende continuar con los trabajos que culminarán con la publicación de la SRVH oficial definitiva en el primer trimestre de 2024.

La Brújula Estratégica de la UE y el planeamiento de la OTAN ante los nuevos escenarios de la seguridad y la defensa (DESEi+d 2022: 163)

Dolores Fuensanta Martínez Martínez, Fernando Noguera Gómez, María Magdalena Fernández Valera y Concepción Pérez Cárceles

El cambio de paradigma de seguridad internacional se presenta como respuesta a ciertas amenazas híbridas y desafíos provocadas por el uso indebido de tecnologías emergentes y disruptivas (ciberataques, campañas de desinformación, injerencias en procesos electorales y políticos, incluso aplicaciones abusivas del derecho para la consecución de objetivos militares, sociopolíticos y económicos...). La doctrina militar ya reconoce como nuevos dominios de las operaciones militares, junto a los tradicionales de tierra, mar, aire y ultraterrestre, el ciberespacio y el dominio cognitivo. Este trabajo presenta un análisis somero y primera evaluación de la respuesta política y estratégica que desde la Unión Europea se da a estos nuevos dominios para los próximos 5-10 años, partiendo de la Brújula Estratégica para la seguridad y la defensa —(por una Unión Europea que proteja a sus ciudadanos, defienda sus valores e intereses y contribuya a la paz y seguridad internacionales)— aprobada por el Consejo en su sesión de 21 de marzo de 2022, así como la respuesta y estrategias que se puedan adoptar en la próxima cumbre de la OTAN de Madrid en junio de 2022.

Desarrollo de una nueva proyección cartográfica con la capacidad de proyectar toda la Tierra y con la capacidad de autorecentrarse con la que se mejoran las deformaciones lineales con respecto a la proyección UTM (DESEi+d 2022: 232)

Juan Andrés Gómez Ortiz y Manuel Antonio Ureña Cámara

El siguiente proyecto consta de la realización de una aplicación con la capacidad de albergar un geoportal soportando el recentrado de una nueva proyección cartográfica de carácter conforme que minimice las deformaciones y con la capacidad de geolocalización en tiempo real. Esta proyección denominada JA tendrá la capacidad de proyectar en toda la superficie de la tierra reduciendo las deformaciones y mejorando a las proyecciones que hoy en día se tienen como referencia, en particular a la proyección UTM desarrollada por el Servicio Geográfico del Ejército de los Estados Unidos. Las principales mejoras que se presentan son:

- La eliminación de las deformaciones en los extremos de los husos, donde se ha diseñado un sistema propio de husos para la proyección JA.
- Proyectar más allá de los 80° Norte y los 80° Sur mejorando a las proyecciones polares.
- La capacidad de autorecentrado de la proyección JA, es decir, para cualquier posición geográfica la proyección se recolocará dado que el algoritmo permite recentrar el marco geográfico de proyección.
- Cálculo más preciso de distancias entre dos puntos geográficos, optimizando el uso de recursos fósiles.

Para poner a prueba la proyección JA, se usarán las librerías de *leaflet* para plasmar una interfaz web de visualización geográfica en donde se conectará a la API *key* de la Estación Espacial Internacional con el fin de tratar los datos en tiempo real con las diferentes proyecciones propuestas. Además habrá disponible un sistema de navegación simulada a través de los archivos *.gpx* con los que también se han tratado zonas problemáticas en lo referente a la deformación lineal, diseñando trayectorias polares y ecuatoriales.

En definitiva se presenta una nueva proyección con la que se pretende unificar el sistema proyectivo a nivel global, permitiendo obtener un marco común entre todas la agencias cartográficas del mundo.

DESE

13.4. Psicología y
humanidades





Las redes sociales de la defensa: presencia, estrategia y alcance (DESEi+d 2022: 36)

Sira Hernández Corchete y Samuel Negrodo Bruna

Las redes sociales no solo forman parte de la comunicación institucional del Ministerio de Defensa y de las Fuerzas Armadas españolas desde 2012, sino que se han convertido en el primer canal oficial de comunicación con la sociedad. A diferencia de los perfiles sociales de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, los del ámbito militar no se han erigido, con excepción de las cuentas de la Unidad Militar de Emergencias, como un instrumento para proporcionar un servicio público *per se*, sino como una herramienta destinada principalmente a la difusión de información corporativa y a la mejora de la imagen de la defensa.

Esta comunicación persigue analizar comparativamente la estrategia *social media* diseñada por el Ministerio de Defensa, el Estado Mayor de la Defensa, el Ejército de Tierra, el Ejército del Aire, la Armada y la Unidad Militar de Emergencias en dichas plataformas digitales, así como la evolución de la presencia, el alcance y la interacción con la ciudadanía logrado a través de ellas en la última década, con el fin de determinar su eficacia en la consecución de una sólida cultura de defensa.

Para ello, la investigación combina un método cualitativo, las entrevistas semiestructuradas a los *community managers* de las redes sociales de las citadas instituciones de la defensa en España, con uno cuantitativo, el análisis de los indicadores o métricas sociales más relevantes en las plataformas en las que atesoran más seguidores: Facebook, Twitter, Instagram y YouTube. Este trabajo, por lo tanto, es fruto de la colaboración como entrevistados de los responsables de la gestión de las principales redes sociales de la defensa y el uso de una avanzada herramienta de análisis contratada para el estudio: Fanpage Karma.

Factores vertebrales a desarrollar en materia de seguridad nacional e internacional: una visión desde los jóvenes universitarios (DESEi+d 2022: 40)

María Vílchez Vivanco, Nerea Vadillo Bengoa, Francisco Trujillo Pacheco y Sergio David Muñoz García

Esta comunicación presenta los principales resultados obtenidos de una investigación centrada en conocer la opinión que los jóvenes universitarios tienen sobre seguridad. El objetivo es identificar la visión que los estudiantes de grados en los que se imparte formación en materia de seguridad y defensa, tienen al respecto de la misma. Para ello, los universitarios han dado respuesta a un cuestionario que incorpora preguntas relacionadas con aspectos importantes sobre una estrategia de seguridad futura, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, todo con objeto de conocer las medidas propuestas por este grupo de sujetos, que a medio-largo plazo, será responsable de llevar a cabo las acciones y los cambios necesarios en el objeto de estudio. Las preguntas son abiertas dado que la pretensión es que el entrevistado responda con libertad y sin límite de espacio ni de tiempo. La metodología empleada es cualitativa. Hemos analizado los resultados por medio de Grounded Theory.

Las conclusiones manifiestan tres dicotomías. La primera de ellas, la de aquellos que consideran que la seguridad solo se puede conseguir por medio de un mejor desarrollo de las capacidades diplomáticas, frente a la de aquellos que son partidarios de las teorías de la acción. La segunda se refiere a los que tienen mayor confianza en las organizaciones internacionales frente a los que apuestan por la posibilidad de aumentar las capacidades nacionales. Y la tercera, la de los que consideran necesario aumentar el gasto y la investigación en cuestiones de seguridad frente a los que no apoyan este tipo de propuestas. Esta investigación forma parte de un estudio de investigación que contempla una mayor dimensión de análisis de la perspectiva de seguridad, tanto a nivel interno como externo. El perfil de los investigadores es multidisciplinar y de carácter cívico militar.

Efecto del *mindfulness* en los patrones cartográficos cerebrales durante la simulación de conducción de vehículos militares (DESEi+d 2022: 254)

M.^a Victoria Sebastián, María A. Navascués, Carlos Ruiz, María Ángeles Idiazábal, Carolina Arcos Sánchez, Elvira Navarro, Antonio Otal, Ángeles Dena y Paz Calap

El registro EEG permite estudiar el comportamiento cerebral en distintos estados y durante la realización de tareas sensoriales y cognoscitivas. Para completar el análisis médico habitual del EEG nuestro equipo ha seleccionado cuantificadores espectrales/fractales de la señal, que permiten indagar en la información contenida en el registro.

La representación visual mediante la cartografía de los datos obtenidos con estos cuantificadores puede ayudar al clínico a una mejor y más rápida interpretación de los resultados.

Con el estudio de los datos obtenidos en los cuantificadores y la visualización de los mismos se pretende analizar el patrón bioeléctrico cerebral de los sujetos de las FAS en estados basales y durante la realización de pruebas de conducción en el simulador del vehículo LMV (situado en el CENAD «San Gregorio» de Zaragoza) en escenarios con diferentes niveles de dificultad. Dado que la conducción es una actividad muy exigente que implica diferentes tareas y procesos mentales simultáneos, es importante estudiar la influencia de diversos factores en el estado cognitivo, la atención y el rendimiento del conductor.

El *mindfulness*, incluido en algunas academias militares como parte de su formación habitual, ha sido reconocido como una estrategia útil para la modificación de algunas redes funcionales neuronales y la mejora de atención. Este estudio pretende analizar la influencia del *mindfulness* sobre la mejora en la atención que necesitan desarrollar los profesionales de las FAS para llevar a cabo las tareas de simulación de conducción.

Además, en el trabajo se pretende discriminar las áreas de mayor actividad bioeléctrica cerebral en cada una de las tareas y analizar la posible existencia de diferencias significativas en la actividad cerebral entre:

- estados basales y pruebas de simulación de conducción,
- pruebas de diferentes niveles de dificultad,
- diferentes grupos de estudio (hombres/mujeres, instructores/alumnos, grupos con/sin entrenamiento previo en *mindfulness*).





DESEi+d 2022



Isdefe



	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE DEFENSA	SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
			SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
			SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL