



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



TEMA:

**“ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO DE LOS TIPOS DE BATERÍAS
COMERCIALES PARA APLICACIONES EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”.**

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Línea de investigación: Análisis y evolución de baterías comerciales para movilidad eléctrica

AUTOR (A):

Jojan Fabricio Espinoza Acosta

DIRECTOR (A):

Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

Ibarra- Ecuador (2026)

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003530530		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Espinoza Acosta Jojan Fabricio		
DIRECCIÓN:	Mascarilla-Mira-Carchi-Ecuador		
EMAIL:	jfspinozaa@uttn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	063010839	TELÉFONO MÓVIL:	0958779359

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estudio bibliométrico de los tipos de baterías comerciales para aplicaciones en vehículos eléctricos.
AUTOR (ES):	Espinoza Acosta Jojan Fabricio
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	23/03/2026
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Gerardo Collaguazo / Ing. Jhonny Barzola MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de marzo de 2026

EL AUTOR:

 Firmado electrónicamente por:
**JOJAN FABRICIO
ESPINOZA ACOSTA**
Validar únicamente con FirmaBC
.....
Jojan Fabricio Espinoza Acosta

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Jhonny Javier Barzola Iza en calidad de director del señor estudiante Jojan Fabricio Espinoza Acosta certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: “Estudio bibliométrico de los tipos de baterías comerciales para aplicaciones en vehículos eléctricos”

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.



.....
Ing. Jhonny Javier Barzola Iza MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**DEDICATORIAS**

Con mucha felicidad inundada en mi corazón quiero dedicar este trabajo a Dios porque ha sido mi fuerza constante y guía en cada paso de este camino. Porque para Dios nada es imposible y sin él nada tiene sentido. De ahí que los humanos escogemos el camino por el que queremos andar, pero sin su luz no se sabe por dónde caminar, es Dios quien alumbra mis pasos, quien da fuerza a mi fé y me sostiene cuando las cosas se ponen difíciles.

A mis padres Santiago y Elizabeth, mi amor y agradecimiento por su apoyo incondicional, sacrificios y amor interminable. Su dedicación, paciencia y ejemplo han sido el motor imprescindible para poder avanzar con constancia y responsabilidad en mi formación.

Para mi hermano menor Joe, por ser un motivo para seguir esforzándome y demostrar que los sueños sí se cumplen cuando uno trabaja y tiene perseverancia.

A mi hermano mayor, un ejemplo de superación y disciplina, aunque lejos. Su éxito académico y su anhelo personal me dieron un impulso constante que mantuvo vivo mi deseo de lograr algo, y creer que las metas bien pueden alcanzarse con esfuerzo y fé.

Les agradezco infinitamente

Jojan Espinoza



AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, por su constante guía, por brindarme la fortaleza para no rendirme y por iluminar cada paso que di a lo largo de este proceso tanto académico como personal.

A mi hermano Deriks, por sus palabras, consejos y conversaciones oportunas, que en muchas ocasiones fueron el impulso para seguir adelante y tener la convicción de culminar esta etapa.

A mis padres Santiago y Elizabeth, por todo el apoyo, esfuerzo diario y confianza que han tenido en mí. Gracias por ser ese pilar fundamental que sostuvo no sólo mi formación académica, sino también mi formación humana y ética.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, que han aportado una gran parte en mi formación profesional, al compartir sus conocimientos y experiencias. En especial deseo agradecer a mi director de trabajo de grado el Ing. Jhonny Barzola, MSc., por su orientación, acompañamiento y disposición durante la elaboración de mi trabajo de grado y a mi asesor, el PhD. Gerardo Collaguazo, por sus valiosos aportes académicos y a su crítica orientación, que fortalecieron este trabajo.

A todos los miembros que componen la Agencia Mira de EMELNORTE S.A, institución donde realicé mis prácticas preprofesionales. Mas allá de los aprendizajes técnicos que me contribuían a mi formación profesional, doy gracias infinitamente por los aprendizajes humanos que recibí, lo que comenzó con un espacio laboral se convirtió en un lugar lleno de compañerismo y amistad que marcó mi vida para siempre.

Y a mis amigos de la universidad, Damián y Anthony, porque, aunque seamos pocos somos leales. Gracias por el apoyo, la compañía y todo lo compartido durante esta etapa universitaria.

Por último, quisiera darle las gracias a mi amiga Karen por su amistad, su apoyo y sus palabras de ánimo, que me ayudaron a lo largo de este proceso.

Ahora puedo decir: una etapa culminada exitosamente. ¡Gracias por todo!

Jojan Espinoza



INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS.....	7
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
INDICE DE TABLAS	28
RESUMEN	29
ABSTRACT.....	30
CAPITULO I	31
INTRODUCCIÓN.....	31
1.1. Problema de investigación.....	31
1.1.1. Problemática para investigar.....	31
1.1.2. Formulación de la pregunta de investigación.....	32
1.2. Objetivos.....	33
1.2.1. Objetivo general	33
1.2.2. Objetivos específicos.....	33
1.3. Alcance y delimitación	33
1.4. Justificación.....	36
CAPÍTULO II	37
MARCO TEÓRICO.....	37
2.1. Antecedentes.....	37
2.2. Bases teóricas de las baterías comerciales para vehículos eléctricos	40
2.2.1. Importancia de las baterías comerciales en la movilidad eléctrica.....	40
2.2.2. Papel de las baterías en la transición hacia la movilidad eléctrica	40
2.3. Evolución tecnológica de las baterías comerciales para vehículos eléctricos	41
2.3.1. Desarrollo histórico de las tecnologías de baterías.	41
2.3.2. Principales avances tecnológicos en baterías comerciales.	45
2.3.3. Factores que han impulsado los avances tecnológicos.	49
2.4. Clasificación de las baterías comerciales para vehículos eléctricos	50
2.5. Perspectivas globales y regionales en el desarrollo de baterías para vehículos eléctricos.....	51
2.5.1. Situación global de las baterías comerciales para vehículos eléctricos.	52
2.5.2. Competitividad entre tecnologías emergentes y su adopción en diferentes mercados. 52	



2.5.3.	La función de Sudamérica en la adquisición de recursos para producir baterías comerciales destinadas a automóviles eléctricos.....	52
2.5.4.	Situación y avances de las baterías para vehículos eléctricos en el contexto ecuatoriano	53
2.6.	Tecnologías emergentes de fabricación de baterías comerciales para vehículos eléctricos.....	53
CAPÍTULO III		56
MATERIALES Y MÉTODOS.....		56
3.1.	Enfoque y tipo de investigación	57
3.1.1.	Enfoque cuantitativo y paradigma bibliométrico	57
3.1.2.	Tipo de investigación	58
3.2.	Diseño de la investigación, materiales, equipos y software	58
3.2.1.	Metodología para el estudio bibliométrico de tecnologías de baterías en el mercado. 58	
3.2.2.	Tabla de materiales, bases de datos y software utilizados	58
3.3.	Métodos, técnicas e instrumentos.....	59
3.3.1.	Universo y población	59
3.3.2.	Criterios de selección y tamaño muestral	60
3.3.3.	Técnicas de recolección.....	60
3.3.4.	Herramientas analíticas.....	115
3.4.	Matriz de operacionalización de variables.....	115
3.4.1.	Variable principal.....	115
3.4.2.	Indicadores e instrumentos de medición	116
3.4.3.	Matriz de operacionalización de variables	116
3.5.	Procedimiento y análisis de datos	117
3.5.1.	Fases del procedimiento bibliométrico aplicado al objetivo 2	117
3.5.2.	Caracterización bibliométrica de los tipos de baterías comerciales para vehículos eléctricos	117
3.5.3.	Consideraciones éticas y transparencia en el uso de la información científica 120	
CAPITULO IV		122
RESULTADOS Y ANÁLISIS		122
4.1.	Análisis de comandos bibliométricos en Scopus	123
4.1.1.	Análisis en Microsoft Excel	123



4.1.2.	Análisis en VOSviewer	245
4.2.	Análisis de comandos bibliométricos en Web of Science.....	304
4.2.1.	Análisis en Microsoft Excel	304
4.2.2.	Análisis en VOSviewer	394
4.3.	Análisis de los comandos bibliométricos en SciELO	452
4.3.1.	Análisis general de los comandos bibliométricos aplicados en SciELO	452
4.3.2.	Análisis en VOSviewer de los comandos bibliométricos de SciELO	456
4.4.	Análisis de los comandos bibliométricos en IEEE Xplore.....	486
4.4.1.	Análisis en Microsoft Excel de los comandos bibliométricos de IEEE Xplore ..	487
4.4.2.	Procedimiento VOSviewer aplicado a los comandos de IEEE Xplore	493
4.5.	Identificación de tecnologías emergentes y tendencias de investigación en baterías comerciales para vehículos eléctricos	526
4.5.1.	Tecnologías consolidadas frente a tecnologías emergentes	527
4.5.2.	Tecnologías emergentes identificadas mediante los indicadores bibliométricos	527
4.5.3.	Tecnologías con baja producción científica y alto potencial tecnológico	528
4.5.4.	Tendencias transversales en la investigación de baterías comerciales	528
4.5.5.	Coincidencias en las tendencias de investigación entre bases de datos científicas	529
4.5.6.	Identificación de las baterías del futuro a partir del análisis bibliométrico	529
4.5.7.	Síntesis de las tendencias y tecnologías emergentes	530
	Conclusiones	531
	Recomendaciones	532
	Referencias bibliográficas.	533



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Evolución de las baterías	43
Ilustración 2: Avances tecnológicos de las baterías comerciales	47
Ilustración 3: Tecnologías emergentes de fabricación de baterías para vehículos eléctricos.....	54
Ilustración 4: Flujograma del capítulo III	56
Ilustración 5: Documentos por año	123
Ilustración 6: Producción por año según revistas.....	124
Ilustración 7: Documentos por autor.....	125
Ilustración 8: Documentos por afiliación institucional	125
Ilustración 9: Documentos por país o territorio	126
Ilustración 10: Documentos por tipo.....	127
Ilustración 11: Documentos por área temática.....	127
Ilustración 12: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	128
Ilustración 13: Documentos por año	129
Ilustración 14: Producción por año según revistas.....	130
Ilustración 15: Documentos por autor.....	130
Ilustración 16: Documentos por afiliación institucional.....	131
Ilustración 17: Documentos por país o territorio.....	132
Ilustración 18: Documentos por tipo.....	132
Ilustración 19: Documentos por área temática	133
Ilustración 20: Documentos por patrocinador de financiamiento	134
Ilustración 21: Documentos por año	135
Ilustración 22: Producción por año según revistas.....	136
Ilustración 23: Documentos por autor.....	137
Ilustración 24: Documentos por afiliación institucional	138
Ilustración 25: Documentos por país o territorio.....	138
Ilustración 26: Documentos por tipo.....	139
Ilustración 27: Documentos por área temática	140
Ilustración 28: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	140
Ilustración 29: Documentos por año	141
Ilustración 30: Producción por año según revistas.....	142
Ilustración 31: Documentos por autor.....	142
Ilustración 32: Documentos por afiliación institucional	143
Ilustración 33: Documentos por país o territorio.....	144
Ilustración 34: Documentos por tipo.....	144
Ilustración 35: Documentos por área temática	145
Ilustración 36: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	146
Ilustración 37: Documentos por año	147
Ilustración 38: Producción por año según revistas.....	148
Ilustración 39: Documentos por autor.....	148
Ilustración 40: Documentos por afiliación institucional.....	149
Ilustración 41: Documentos por país o territorio.....	150
Ilustración 42: Documentos por tipo.....	150



Ilustración 43: Documentos por área temática	151
Ilustración 44: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	152
Ilustración 45: Documentos por año	152
Ilustración 46: Producción por año según revistas.....	153
Ilustración 47: Documentos por autor.....	154
Ilustración 48: Documentos por afiliación institucional	154
Ilustración 49: Documentos por país o territorio.....	155
Ilustración 50: Documentos por tipo.....	156
Ilustración 51: Documentos por área temática	157
Ilustración 52: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	157
Ilustración 53: Documentos por año	158
Ilustración 54: Producción por año según revistas.....	159
Ilustración 55: Documentos por autor.....	160
Ilustración 56: Documentos por afiliación institucional.....	160
Ilustración 57: Documentos por país o territorio.....	161
Ilustración 58: Documentos por tipo.....	162
Ilustración 59: Documentos por área temática.....	162
Ilustración 60: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	163
Ilustración 61: Documentos por año	164
Ilustración 62: Producción por año según revistas.....	165
Ilustración 63: Documentos por autor.....	165
Ilustración 64: Documentos por afiliación institucional.....	166
Ilustración 65: Documentos por país o territorio.....	166
Ilustración 66: Documentos por tipo.....	167
Ilustración 67: Documentos por área temática	168
Ilustración 68: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	168
Ilustración 69: Publicaciones por año	169
Ilustración 70: Producción por año según revistas.....	170
Ilustración 71: Documentos por autor.....	171
Ilustración 72: Documentos por afiliación institucional.....	171
Ilustración 73: Documentos por país o territorio	172
Ilustración 74: Documentos por tipo.....	173
Ilustración 75: Documentos por área temática	173
Ilustración 76: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	174
Ilustración 77: Documentos por año	175
Ilustración 78: Producción por año según revistas.....	176
Ilustración 79: Documentos por autor.....	176
Ilustración 80: Documentos por afiliación institucional.....	177
Ilustración 81: Documentos por país o territorio.....	178
Ilustración 82: Documentos por tipo.....	178
Ilustración 83: Documentos por área temática.....	179
Ilustración 84: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	180
Ilustración 85: Documentos por año	181



Ilustración 86: Producción por año según revistas.....	182
Ilustración 87: Documentos por autor.....	182
Ilustración 88: Documentos por afiliación institucional.....	183
Ilustración 89: Documentos por país o territorio.....	184
Ilustración 90: Documentos por tipo.....	184
Ilustración 91: Documentos por área temática.....	185
Ilustración 92: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	186
Ilustración 93: Documentos por año.....	187
Ilustración 94: Producción por año según revistas.....	188
Ilustración 95: Documentos por autor.....	188
Ilustración 96: Documentos por afiliación institucional.....	189
Ilustración 97: Documentos por país o territorio.....	189
Ilustración 98: Documentos por tipo.....	190
Ilustración 99: Documentos por área temática.....	191
Ilustración 100: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	192
Ilustración 101: Documentos por año.....	193
Ilustración 102: Producción por año según revistas.....	194
Ilustración 103: Documentos por autor.....	194
Ilustración 104: Documentos por afiliación institucional.....	195
Ilustración 105: Documentos por país o territorio.....	196
Ilustración 106: Documentos por tipo.....	196
Ilustración 107: Documentos por área temática.....	197
Ilustración 108: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	198
Ilustración 109: Documentos por año.....	198
Ilustración 110: Producción por año según revistas.....	199
Ilustración 111: Documentos por autor.....	200
Ilustración 112: Documentos por afiliación institucional.....	201
Ilustración 113: Documentos por país o territorio.....	202
Ilustración 114: Documentos por tipo.....	203
Ilustración 115: Documentos por área temática.....	203
Ilustración 116: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	204
Ilustración 117: Documentos por año.....	205
Ilustración 118: Producción por año según revistas.....	206
Ilustración 119: Documentos por autor.....	206
Ilustración 120: Documentos por afiliación institucional.....	207
Ilustración 121: Documentos por país o territorio.....	208
Ilustración 122: Documentos por tipo.....	208
Ilustración 123: Documentos por área temática.....	209
Ilustración 124: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	210
Ilustración 125: Documentos por año.....	211
Ilustración 126: Producción por año según revistas.....	212
Ilustración 127: Documentos por autor.....	212
Ilustración 128: Documentos por afiliación institucional.....	213



Ilustración 129: Documentos por país o territorio.....	214
Ilustración 130: Documentos por tipo.....	214
Ilustración 131: Documentos por área temática	215
Ilustración 132: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	216
Ilustración 133: Documentos por año	217
Ilustración 134: Producción por año según revistas	218
Ilustración 135: Documentos por autor.....	218
Ilustración 136: Documentos por afiliación institucional.....	219
Ilustración 137: Documentos por país o territorio.....	220
Ilustración 138: Documentos por tipo.....	220
Ilustración 139: Documentos por área temática	221
Ilustración 140: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	222
Ilustración 141: Documentos por año	222
Ilustración 142: Producción por año según revistas	223
Ilustración 143: Documentos por autor.....	224
Ilustración 144: Documentos por afiliación institucional.....	225
Ilustración 145: Documentos por país o territorio.....	225
Ilustración 146: Documentos por tipo	226
Ilustración 147: Documentos por área temática	227
Ilustración 148: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	227
Ilustración 149: Documentos por año	228
Ilustración 150: Producción por año según revistas	229
Ilustración 151: Documentos por autor.....	230
Ilustración 152: Documentos por afiliación institucional.....	231
Ilustración 153: Documentos por país o territorio.....	231
Ilustración 154: Documentos por tipo.....	232
Ilustración 155: Documentos por área temática	233
Ilustración 156: Documentos por patrocinador de financiamiento	233
Ilustración 157: Documentos por año	234
Ilustración 158: Producción por año según revistas	235
Ilustración 159: Documentos por autor.....	236
Ilustración 160: Documentos por afiliación institucional.....	237
Ilustración 161: Documentos por país o territorio.....	238
Ilustración 162: Documentos por tipo.....	238
Ilustración 163: Documentos por área temática	239
Ilustración 164: Documentos por patrocinador de financiamiento.....	239
Ilustración 165: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density	246
Ilustración 166: Mapa de condiciones de coexistencia del equipo de densidad de energía y batería de iones de litio	246
Ilustración 167: Mapa de citación para el comando Li-ion battery AND energy density	247
Ilustración 168: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Li-ion battery AND energy density	248
Ilustración 169: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND energy density	248



Ilustración 170: Mapa de coautoría para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	249
Ilustración 171: Mapa de términos de CC para baterías de iones de litio Y degradación de baterías	250
Ilustración 172: Mapa de citación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	250
Ilustración 173: Mapa de enlaces bibliográficos para baterías de iones de litio Y degradación de baterías	251
Ilustración 174: Mapa de cocitación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	251
Ilustración 175: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND safety	252
Ilustración 176: Mapa de CC de términos de batería de iones de litio Y equipo de seguridad	253
Ilustración 177: Mapa de referencia de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad	253
Ilustración 178: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad	254
Ilustración 179: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND safety.....	255
Ilustración 180: Mapa de contribuyentes del equipo de baterías de hidruro metálico de níquel y vehículos eléctricos	256
Ilustración 181: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	256
Ilustración 182: Mapa de citación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	257
Ilustración 183: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	257
Ilustración 184: Mapa de cocitación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	257
Ilustración 185: Mapa de contribuyentes del equipo de batería de fosfato de hierro y litio Y eficiencia.....	258
Ilustración 186: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	258
Ilustración 187: Mapa de citación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	259
Ilustración 188: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	259
Ilustración 189: Mapa de cocitación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	260
Ilustración 190: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization.....	261
Ilustración 191: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Solid-state battery AND commercialization	261
Ilustración 192: Mapa de citación para el comando Solid-state battery AND commercialization	262
Ilustración 193: Esquema bibliográfico de baterías de estado sólido Y equipos de comercialización	262



Ilustración 194: Mapa de cocitación para el comando Solid-state battery AND commercialization	263
Ilustración 195: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance.	263
Ilustración 196: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Sodium-ion battery AND performance	264
Ilustración 197: Batería de iones de sodio Y tarjeta de referencia del equipo de rendimiento	264
Ilustración 198: Diagrama de cableado bibliográfico para batería de iones de sodio y equipo de rendimiento	265
Ilustración 199: Mapa de cocitación para el comando Sodium-ion battery AND performance	265
Ilustración 200: Mapa de coautoría para el comando Hybrid battery AND lifetime	266
Ilustración 201: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Hybrid battery AND lifetime	266
Ilustración 202: Mapa de citación para el comando Hybrid battery AND lifetime	267
Ilustración 203: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Hybrid battery AND lifetime	267
Ilustración 204: Mapa de cocitación para el comando Hybrid battery AND lifetime	268
Ilustración 205: Mapa de coautoría para el comando Battery efficiency AND charging	268
Ilustración 206: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery efficiency AND charging	269
Ilustración 207: Mapa de citación para el comando Battery efficiency AND charging	269
Ilustración 208: Mapa de enlaces bibliográficos del comando Eficiencia de batería Y carga .	270
Ilustración 209: Mapa de cocitación para el comando Battery efficiency AND charging	270
Ilustración 210: Mapa de coautoría para el comando Battery lifespan AND Li-ion	271
Ilustración 211: Mapa de coexistencia de duración de la batería y plazos de comando de iones de litio	271
Ilustración 212: Mapa de citación para el comando Battery lifespan AND Li-ion	272
Ilustración 213: Mapa de enlaces bibliográficos para la duración de la batería Y el equipo de iones de litio	272
Ilustración 214: Tarjeta de felicitación por la duración de la batería Y el equipo de Li-ion....	272
Ilustración 215: Mapa de coautoría para el comando Battery thermal management AND vehicle	273
Ilustración 216: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery thermal management AND vehicle	273
Ilustración 217: Mapa de citación para el comando Battery thermal management AND vehicle	274
Ilustración 218: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery thermal management AND vehicle	274
Ilustración 219: Mapa de cocitación para el comando Battery thermal management AND vehicle	275
Ilustración 220: Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway ...	276
Ilustración 221: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery safety AND thermal runaway	276
Ilustración 222: Mapa de citación para el comando Battery safety AND thermal runaway	277



Ilustración 223: Esquema Bibliográfico de Cableado para Seguridad de Baterías y Comando de Arranque Térmico	277
Ilustración 224: Mapa de cocitación para el comando Battery safety AND thermal runaway	278
Ilustración 225: Mapa de coautoría para el comando Battery cost AND electric vehicles	278
Ilustración 226: Mapa de coincidencia temporal para costos de baterías y equipo de vehículos eléctricos	279
Ilustración 227: Mapa de citación para el comando Battery cost AND electric vehicles	279
Ilustración 228: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery cost AND electric vehicles	280
Ilustración 229: Mapa de cocitación para el comando Battery cost AND electric vehicles	280
Ilustración 230: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion	281
Ilustración 231: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery recycling AND lithium-ion	281
Ilustración 232: Mapa de citación para el comando Battery recycling AND lithium-ion	282
Ilustración 233: Mapa de enlaces bibliográficos del equipo de Reciclaje de Baterías E Iones de Litio	282
Ilustración 234: Mapa de cocitación para el comando Battery recycling AND lithium-ion	282
Ilustración 235: Mapa de coautoría para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	283
Ilustración 236: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	283
Ilustración 237: Mapa de citación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	284
Ilustración 238: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	284
Ilustración 239: Mapa de cocitación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	285
Ilustración 240: Mapa de coautoría para el comando Aluminum-air battery AND mobility ...	285
Ilustración 241: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Aluminum-air battery AND mobility	286
Ilustración 242: Mapa de citación para el comando Aluminum-air battery AND mobility	286
Ilustración 243: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Aluminum-air battery AND mobility	287
Ilustración 244: Mapa de cocitación para el comando Aluminum-air battery AND mobility ..	287
Ilustración 245: Mapa de coautoría para el comando Fast charging AND Li-ion battery	288
Ilustración 246: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Fast charging AND Li-ion battery	288
Ilustración 247: Mapa de citación para el comando Fast charging AND Li-ion battery	289
Ilustración 248: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Fast charging AND Li-ion battery	289
Ilustración 249: Mapa de cocitación para el comando Fast charging AND Li-ion battery	289
Ilustración 250: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation	290



Ilustración 251: Mapa conceptual del equipo de almacenamiento de energía Y degradación de baterías.....	291
Ilustración 252: Tarjeta de referencia del equipo de almacenamiento de energía y degradación de baterías	291
Ilustración 253: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Energy storage AND battery degradation.....	292
Ilustración 254: Mapa de cocitación para el comando Energy storage AND battery degradation	292
Ilustración 255: Mapa de coautoría para el comando Commercial battery AND vehicle.....	293
Ilustración 256: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Commercial battery AND vehicle.....	294
Ilustración 257: Mapa de citación para el comando Commercial battery AND vehicle.....	294
Ilustración 258: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Commercial battery AND vehicle	295
Ilustración 259: Mapa de cocitación para el comando Commercial battery AND vehicle	295
Ilustración 260: Mapa de coautoría para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	296
Ilustración 261: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	297
Ilustración 262: Mapa de citación para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	297
Ilustración 263: Tarjeta de conexión bibliográfica del equipo Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos.....	298
Ilustración 264: Mapa de referencia del equipo Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos	298
Ilustración 265: Documentos por año	304
Ilustración 266: Documentos por tipo	305
Ilustración 267: Documentos por autor.....	306
Ilustración 268: Documentos por categoría de WoS.....	307
Ilustración 269: Documentos por afiliación institucional	308
Ilustración 270: Documentos por país o territorio.....	308
Ilustración 271: Documentos por área temática	309
Ilustración 272: Documentos por agencias patrocinadoras	310
Ilustración 273: Publicaciones por año	310
Ilustración 274: Publicaciones por tipo	311
Ilustración 275: Documentos por autor	311
Ilustración 276: Documentos por categoría de WoS.....	312
Ilustración 277: Documentos por afiliación institucional.....	312
Ilustración 278: Documentos por país o territorio.....	313
Ilustración 279: Documentos por área temática	313
Ilustración 280: Documentos por agencias patrocinadoras	314
Ilustración 281: Publicaciones por año	314
Ilustración 282: Documentos por tipo.....	315
Ilustración 283: Documentos por autor.....	315



Ilustración 284: Documentos por categoría de WoS.....	316
Ilustración 285: Documentos por afiliación institucional.....	316
Ilustración 286: Documentos por país o territorio.....	317
Ilustración 287: Documentos por área temática.....	317
Ilustración 288: Documentos por agencias patrocinadoras	318
Ilustración 289: Publicaciones por año	318
Ilustración 290: Documentos por tipo.....	319
Ilustración 291: Documentos por autor.....	319
Ilustración 292: Documentos por categoría de WoS.....	320
Ilustración 293: Documentos por afiliación institucional.....	320
Ilustración 294: Documentos por país o territorio.....	321
Ilustración 295: Documentos por área temática.....	321
Ilustración 296: Documentos por agencias patrocinadoras	322
Ilustración 297: Publicaciones por año	322
Ilustración 298: Documentos por tipo.....	323
Ilustración 299: Documentos por autor	323
Ilustración 300: Documentos por categoría de WoS.....	324
Ilustración 301: Documentos por afiliación institucional.....	324
Ilustración 302: Documentos por país o territorio.....	325
Ilustración 303: Documentos por área temática	325
Ilustración 304: Documentos por agencias patrocinadoras	326
Ilustración 305: Publicaciones por año	326
Ilustración 306: Documentos por tipo.....	327
Ilustración 307: Documentos por autor.....	327
Ilustración 308: Documentos por categoría de WoS.....	328
Ilustración 309: Documentos por afiliación institucional	328
Ilustración 310: Documentos por país o territorio.....	329
Ilustración 311: Documentos por área temática	329
Ilustración 312: Documentos por agencias patrocinadoras	330
Ilustración 313: Publicaciones por año	330
Ilustración 314: Documentos por tipo.....	331
Ilustración 315: Documentos por autor.....	331
Ilustración 316: Documentos por categoría de WoS.....	332
Ilustración 317: Documentos por afiliación institucional.....	332
Ilustración 318: Documentos por país o territorio.....	333
Ilustración 319: Documentos por área temática	333
Ilustración 320: Documentos por agencias patrocinadoras	334
Ilustración 321: Publicaciones por año	334
Ilustración 322: Documentos por tipo	335
Ilustración 323: Documentos por autor.....	335
Ilustración 324: Documentos por categoría de WoS.....	336
Ilustración 325: Documentos por afiliación institucional.....	336
Ilustración 326: Documentos por país o territorio.....	337



Ilustración 327: Documentos por área temática	337
Ilustración 328: Documentos por agencias patrocinadoras	338
Ilustración 329: Publicaciones por año	338
Ilustración 330: Documentos por tipo.....	339
Ilustración 331: Documentos por autor.....	339
Ilustración 332: Documentos por categoría de WoS.....	340
Ilustración 333: Documentos por afiliación institucional.....	340
Ilustración 334: Documentos por país o territorio.....	341
Ilustración 335: Documentos por área temática	341
Ilustración 336: Documentos por agencias patrocinadoras	342
Ilustración 337: Publicaciones por año	342
Ilustración 338: Documentos por tipo.....	343
Ilustración 339: Documentos por autor.....	343
Ilustración 340: Documentos por categoría de WoS.....	344
Ilustración 341: Documentos por afiliación institucional.....	344
Ilustración 342: Documentos por país o territorio.....	345
Ilustración 343: Documentos por área temática	345
Ilustración 344: Documentos por agencias patrocinadoras	346
Ilustración 345: Publicaciones por año	346
Ilustración 346: Documentos por tipo.....	347
Ilustración 347: Documentos por autor.....	347
Ilustración 348: Documentos por categoría de WoS.....	348
Ilustración 349: Documentos por afiliación institucional.....	348
Ilustración 350: Documentos por país o territorio.....	349
Ilustración 351: Documentos por área temática	349
Ilustración 352: Documentos por agencias patrocinadoras.....	350
Ilustración 353: Publicaciones por año	350
Ilustración 354: Documentos por tipo	351
Ilustración 355: Documentos por autor.....	351
Ilustración 356: Documentos por categoría de WoS.....	352
Ilustración 357: Documentos por afiliación institucional.....	352
Ilustración 358: Documentos por país o territorio	353
Ilustración 359: Documentos por área temática	353
Ilustración 360: Documentos por agencias patrocinadoras	354
Ilustración 361: Publicaciones por año	354
Ilustración 362: Documentos por tipo.....	355
Ilustración 363: Documentos por autor.....	355
Ilustración 364: Documentos por categoría de WoS.....	356
Ilustración 365: Documentos por afiliación institucional.....	356
Ilustración 366: Documentos por país o territorio.....	357
Ilustración 367: Documentos por área temática	357
Ilustración 368: Documentos por agencias patrocinadoras	358
Ilustración 369: Publicaciones por año	358



Ilustración 370: Documentos por tipo.....	359
Ilustración 371: Documentos por autor.....	359
Ilustración 372: Documentos por categoría de WoS.....	360
Ilustración 373: Documentos por afiliación institucional.....	360
Ilustración 374: Documentos por país o territorio.....	361
Ilustración 375: Documentos por área temática	361
Ilustración 376: Documentos por agencias patrocinadoras	362
Ilustración 377: Publicaciones por año	362
Ilustración 378: Documentos por tipo	363
Ilustración 379: Documentos por autor.....	363
Ilustración 380: Documentos por categoría de WoS.....	364
Ilustración 381: Documentos por afiliación institucional.....	364
Ilustración 382: Documentos por país o territorio.....	365
Ilustración 383: Documentos por área temática	365
Ilustración 384: Documentos por agencias patrocinadoras	366
Ilustración 385: Publicaciones por año	366
Ilustración 386: Documentos por tipo.....	367
Ilustración 387: Documentos por autor.....	367
Ilustración 388: Documentos por categoría de WoS.....	368
Ilustración 389: Documentos por afiliación institucional	368
Ilustración 390: Documentos por país o territorio.....	369
Ilustración 391: Documentos por área temática.....	369
Ilustración 392: Documentos por agencias patrocinadoras	370
Ilustración 393: Publicaciones por año	370
Ilustración 394: Documentos por tipo	371
Ilustración 395: Documentos por autor.....	371
Ilustración 396: Documentos por categoría de WoS.....	372
Ilustración 397: Documentos por afiliación institucional.....	372
Ilustración 398: Documentos por país o territorio.....	373
Ilustración 399: Documentos por área temática	373
Ilustración 400: Documentos por agencias patrocinadoras	374
Ilustración 401: Publicaciones por año	374
Ilustración 402: Documentos por tipo	375
Ilustración 403: Documentos por autor	375
Ilustración 404: Documentos por categoría de WoS.....	376
Ilustración 405: Documentos por afiliación institucional	376
Ilustración 406: Documentos por país o territorio	377
Ilustración 407: Documentos por área temática.....	377
Ilustración 408: Documentos por agencias patrocinadoras	378
Ilustración 409: Publicaciones por año	378
Ilustración 410: Documentos por tipo.....	379
Ilustración 411: Documentos por autor.....	379
Ilustración 412: Documentos por categoría de WoS.....	380



Ilustración 413: Documentos por afiliación institucional.....	380
Ilustración 414: Documentos por país o territorio.....	381
Ilustración 415: Documentos por área temática	381
Ilustración 416: Documentos por agencias patrocinadoras	382
Ilustración 417: Publicaciones por año	382
Ilustración 418: Documentos por tipo.....	383
Ilustración 419: Documentos por autor	383
Ilustración 420: Documentos por categoría de WoS.....	384
Ilustración 421: Documentos por afiliación institucional.....	384
Ilustración 422: Documentos por país o territorio.....	385
Ilustración 423: Documentos por área temática	385
Ilustración 424: Documentos por agencias patrocinadoras	386
Ilustración 425: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density	394
Ilustración 426: Mapa de coexistencia de términos de comando de densidad de energía Y batería de iones de litio	395
Ilustración 427: Tarjeta de referencia de batería de iones de litio Y comando de densidad de energía.....	395
Ilustración 428: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio Y comando de densidad de energía	396
Ilustración 429: Mapa de cocitación de baterías de iones de litio Y comando de densidad de energía.....	396
Ilustración 430: Mapa de coautoría para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	397
Ilustración 431: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation	397
Ilustración 432: Mapa de citación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	398
Ilustración 433: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation	398
Ilustración 434: Mapa de cocitación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	399
Ilustración 435: Mapa de contribuyentes para la batería de iones de litio y el equipo de seguridad.....	399
Ilustración 436: Mapa de CC de términos de comando de seguridad Y batería de iones de litio	400
Ilustración 437: Mapa de referencia de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad.	400
Ilustración 438: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad	401
Ilustración 439: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND safety	401
Ilustración 440: Mapa de coautoría para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	402
Ilustración 441: Mapa conceptual del equipo de batería de hidruro metálico de níquel y vehículo eléctrico	402



Ilustración 442: Mapa de citación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	403
Ilustración 443: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	403
Ilustración 444: Mapa de cocitación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	404
Ilustración 445: Mapa de coautoría para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	404
Ilustración 446: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	405
Ilustración 447: Mapa de citación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	405
Ilustración 448: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	406
Ilustración 449: Mapa de cocitación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency	406
Ilustración 450: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization.....	407
Ilustración 451: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Solid-state battery AND commercialization.....	407
Ilustración 452: Tarjeta de cotización para batería de estado sólido Y equipo de comercialización	408
Ilustración 453: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Solid-state battery AND commercialization.....	408
Ilustración 454: Mapa de cocitación para el comando Solid-state battery AND commercialization.....	409
Ilustración 455: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance.....	409
Ilustración 456: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Sodium-ion battery AND performance	410
Ilustración 457: Mapa de citación para el comando Sodium-ion battery AND performance... ..	410
Ilustración 458: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Sodium-ion battery AND performance	411
Ilustración 459: Batería de iones de sodio Y mapa de inducción de comandos de rendimiento	411
Ilustración 460: Mapa de coautoría para el comando Hybrid battery AND lifetime	412
Ilustración 461: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Hybrid battery AND lifetime	412
Ilustración 462: Tarjeta de referencia para batería híbrida Y comando de vida útil	413
Ilustración 463: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Hybrid battery AND lifetime	413
Ilustración 464: Mapa de cocitación para el comando Hybrid battery AND lifetime	414
Ilustración 465: Mapa de coautoría para el comando Battery efficiency AND charging	414
Ilustración 466: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery efficiency AND charging	415
Ilustración 467: Mapa de citación para el comando Battery efficiency AND charging	415



Ilustración 468: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery efficiency AND charging	416
Ilustración 469: Mapa de cocitación para el comando Battery efficiency AND charging	416
Ilustración 470: Mapa de coautoría para el comando Battery lifespan AND Li-ion	417
Ilustración 471: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery lifespan AND Li-ion	417
Ilustración 472: Mapa de citación para el comando Battery lifespan AND Li-ion	418
Ilustración 473: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery lifespan AND Li-ion	418
Ilustración 474: Mapa de visita para el equipo Battery Life AND Li-ion	419
Ilustración 475: Mapa de coautoría para el comando Battery thermal management AND vehicle	419
Ilustración 476: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery thermal management AND vehicle	420
Ilustración 477: Mapa de referencia para la gestión térmica de la batería y el comando del vehículo	420
Ilustración 478: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery thermal management AND vehicle	421
Ilustración 479: Mapa de cocitación para el comando Battery thermal management AND vehicle	421
Ilustración 480: Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway ...	422
Ilustración 481: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery safety AND thermal runaway	422
Ilustración 482: Mapa de citación para el comando Battery safety AND thermal runaway	423
Ilustración 483: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery safety AND thermal runaway	423
Ilustración 484: Mapa de cocitación para el comando Battery safety AND thermal runaway	424
Ilustración 485: Mapa de coautoría para el comando Battery cost AND electric vehicles	424
Ilustración 486: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery cost AND electric vehicles	424
Ilustración 487: Mapa de citación para el comando Battery cost AND electric vehicles	425
Ilustración 488: Mapa de enlaces bibliográficos para el equipo de Costo de Baterías Y Vehículos Eléctricos	426
Ilustración 489: Mapa de cocitación para el comando Battery cost AND electric vehicles	426
Ilustración 490: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion	427
Ilustración 491: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery recycling AND lithium-ion	427
Ilustración 492: Mapa de citación para el comando Battery recycling AND lithium-ion	428
Ilustración 493: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery recycling AND lithium-ion	428
Ilustración 494: Mapa de referencia para el equipo de Reciclaje de Baterías Y Iones de Litio	429
Ilustración 495: Mapa de coautoría para el comando Lithium-sulfur battery AND applications	429



Ilustración 496: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.....	430
Ilustración 497: Mapa de citación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.....	430
Ilustración 498: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.....	431
Ilustración 499: Mapa de cocitación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.....	431
Ilustración 500: Mapa de coautoría para el comando Aluminum-air battery AND mobility ...	432
Ilustración 501: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Aluminum-air battery AND mobility	432
Ilustración 502: Mapa de citación para el comando Aluminum-air battery AND mobility	433
Ilustración 503: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Aluminum-air battery AND mobility	433
Ilustración 504: Mapa de cocitación para el comando Aluminum-air battery AND mobility ..	434
Ilustración 505: Mapa de colaborador para Team Fast Charge Y batería de iones de litio	434
Ilustración 506: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Fast charging AND Li-ion battery	435
Ilustración 507: Mapa de citación para el comando Fast charging AND Li-ion battery	435
Ilustración 508: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Fast charging AND Li-ion battery	436
Ilustración 509: Mapa de cocitación para el comando Fast charging AND Li-ion battery	436
Ilustración 510: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation	437
Ilustración 511: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Energy storage AND battery degradation.....	437
Ilustración 512: Mapa de referencia del equipo de almacenamiento de energía y degradación de baterías.....	438
Ilustración 513: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Energy storage AND battery degradation.....	438
Ilustración 514: Mapa de cocitación para el comando Energy storage AND battery degradation	439
Ilustración 515: Mapa de coautoría para el comando Commercial battery AND vehicle.....	440
Ilustración 516: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Commercial battery AND vehicle.....	441
Ilustración 517: Mapa de citación para el comando Commercial battery AND vehicle.....	441
Ilustración 518: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Commercial battery AND vehicle	442
Ilustración 519: Mapa de cocitación para el comando Commercial battery AND vehicle.....	442
Ilustración 520: Mapa de coautoría para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	443
Ilustración 521: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	444
Ilustración 522: Mapa de citación para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	444



Ilustración 523: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics	445
Ilustración 524: Tarjeta de comentarios para el equipo Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos	445
Ilustración 525: Mapa de coautoría del comando Li-ion battery	457
Ilustración 526: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Li-ion battery	457
Ilustración 527: Mapa de coautoría del comando Commercial battery	458
Ilustración 528: Mapa de coocurrencia de palabras clave de un comando de batería comercial	459
Ilustración 529: Mapa de coautoría del comando Electric vehicle battery	460
Ilustración 530: Mapa de relevancia de palabras clave del equipo de baterías de vehículos eléctricos	460
Ilustración 531: Mapa de coautoría del comando Lithium battery	461
Ilustración 532: Mapa clave de comando de batería de litio con mapa de eventos	461
Ilustración 533: Comando de batería de estado sólido con tarjeta de autor	462
Ilustración 534: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Solid-state battery	463
Ilustración 535: Mapa de coautoría del comando Nickel metal hydride battery	463
Ilustración 536: Mapa de aparición de palabras clave del equipo de baterías de hidruro metálico de níquel	464
Ilustración 537: Mapa de coautoría del comando Sodium battery	464
Ilustración 538: Palabra clave de comando de batería de sodio con mapa de eventos	465
Ilustración 539: Mapa de coautoría del comando Hybrid battery	465
Ilustración 540: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Hybrid battery	466
Ilustración 541: Mapa de coautoría del comando Battery efficiency	466
Ilustración 542: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery efficiency	467
Ilustración 543: Mapa de coautoría del comando Battery lifetime	468
Ilustración 544: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery lifetime	468
Ilustración 545: Mapa de coautoría del comando Battery safety	469
Ilustración 546: Mapa de coocurrencia de palabras clave del comando de seguridad de la batería	469
Ilustración 547: Mapa de coautoría del comando Energy density battery	470
Ilustración 548: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Energy density battery	470
Ilustración 549: Mapa de coautoría del comando Lithium-sulfur battery	471
Ilustración 550: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del equipo de baterías de litio-azufre	471
Ilustración 551: Mapa de coautoría del comando Aluminum-air battery	472
Ilustración 552: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Aluminum-air battery	472
Ilustración 553: Mapa de coautoría del comando Battery thermal management	473
Ilustración 554: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery thermal management	473
Ilustración 555: Mapa de coautoría del comando Battery fast charging	474
Ilustración 556: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery fast charging	475



Ilustración 557: Mapa de coautoría del comando Battery recycling electric vehicles	476
Ilustración 558: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery recycling electric vehicles	476
Ilustración 559: Mapa de coautoría del comando Battery cost electric vehicles	477
Ilustración 560: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery cost electric vehicles	478
Ilustración 561: Mapa de coautoría del comando Battery degradation	479
Ilustración 562: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery degradation	480
Ilustración 563: Mapa de coautoría del comando Lithium-ion batteries	481
Ilustración 564: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Lithium-ion batteries	481
Ilustración 565: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density	494
Ilustración 566: Mapa de co-ocurrencia para el comando Li-ion battery AND energy density.	495
Ilustración 567: Mapa de coautoría para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	496
Ilustración 568: Mapa de co-ocurrencia para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.....	497
Ilustración 569: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND safety.....	497
Ilustración 570: Mapa de co-ocurrencia para el comando Li-ion battery AND safety.	498
Ilustración 571: Mapa de coautoría para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.....	499
Ilustración 572: Batería moderna de hidruro metálico de níquel Y comando de vehículo eléctrico.....	499
Ilustración 573: Mapa de coautoría para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency.	500
Ilustración 574: Mapa de co-ocurrencia para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency.	501
Ilustración 575: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization.	502
Ilustración 576: Mapa de coexistencia del comando de comercialización y batería de estado sólido.....	502
Ilustración 577: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance.	503
Ilustración 578: Mapa de coexistencia de la batería de iones de sodio y el equipo de rendimiento.	504
Ilustración 579: Mapa de contribuyentes para batería híbrida y Life Team	504
Ilustración 580: Mapa de coexistencia de batería híbrida y comando de tiempo de ejecución.	505
Ilustración 581: Mapa de colaboradores para el equipo de Eficiencia y carga de la batería.	505
Ilustración 582: Mapa de coocurrencia de eficiencia de la batería y comando de carga.	506
Ilustración 583: Mapa de colaborador del equipo Battery Life Y del equipo Li-ion.	507
Ilustración 584: Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery lifespan AND Li-ion.	507
Ilustración 585: Mapa de coautoría para el equipo de Gestión Térmica de la Batería Y el vehículo.....	508



Ilustración 587: Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery thermal management AND vehicle.....	509
Ilustración 588: Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway....	509
Ilustración 589: Mapa de coocurrencia del comando de arranque térmico y seguridad de la batería.	510
Ilustración 590: Mapa de contribuyentes para el equipo de Costo de baterías y vehículos eléctricos.	510
Ilustración 591: Mapa de eventos simultáneos para el equipo de Costo de baterías y vehículos eléctricos.	511
Ilustración 592: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion.	512
Ilustración 593: Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery recycling AND lithium-ion.	513
Ilustración 594: Mapa de contribuyentes del equipo de aplicaciones y baterías de litio-azufre.	514
Ilustración 595: Mapa de co-ocurrencia para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.	514
Ilustración 596: Mapa de co-ocurrencia para el comando Aluminum-air battery AND mobility.	515
Ilustración 597: Mapa de colaboración para el sistema de carga rápida Y batería de Li-ion...516	
Ilustración 598: Mapa de coincidencia para el comando Carga rápida Y Batería de Li-ion....516	
Ilustración 599: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation.	517
Ilustración 600: Mapa de co-ocurrencia para el comando Energy storage AND battery degradation.....	518
Ilustración 601: Mapa de coautoría para el comando Commercial battery AND vehicle.....	518
Ilustración 602: Mapa de co-ocurrencia para el comando Commercial battery AND vehicle..	519
Ilustración 603: Mapa de coautoría para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	519
Ilustración 604: Mapa de co-ocurrencia para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.....	520
Ilustración 605: Cronograma de actividades.....	538



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales, equipos y software empleados en la investigación	59
Tabla 2: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos Scopus	62
Tabla 3: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos Web of Science	63
Tabla 4: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos SciELO	65
Tabla 5: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos IEEE Xplore	67
Tabla 6: Matriz de operacionalización de la variable “Tipo de batería comercial”	116
Tabla 7: Caracterización de los tipos de baterías para vehículos eléctricos [44],[45]	119
Tabla 8: Tendencia de publicaciones (2005-2024)	240
Tabla 9: Madurez Tecnológica y Nivel de Aplicación	242
Tabla 10: Principales Áreas Temáticas	242
Tabla 11: Distribución Geográfica de Liderazgo Científico	243
Tabla 12: Características Clave de Cada Tecnología	244
Tabla 13: Resumen del análisis visual por comando	299
Tabla 14: Tendencias de baterías identificadas	302
Tabla 15: Panorama general de los comandos en Web of Science	387
Tabla 16: Resumen de patrones bibliométricos por comando	388
Tabla 17: Enfoque temático por comando	390
Tabla 18: Hallazgos transversales de la base Web of Science	391
Tabla 19: Resumen general de comandos, publicaciones y hallazgos en Web of Science	392
Tabla 20: Análisis Integrado de VOSviewer para los 20 Comandos	446
Tabla 21: Clasificación de Madurez Científica	448
Tabla 22: Patrones Bibliométricos Dominantes	449
Tabla 23: Resumen estratégico del análisis en VOSviewer por comando	450
Tabla 24: Tecnologías específicas con baja producción	455
Tabla 25: Síntesis por comando: lectura de coautoría y co-ocurrencia y aporte a tendencias	482
Tabla 26: Tendencias emergentes regionales identificadas desde VOSviewer	485
Tabla 27: Tendencias generales observadas en el análisis en Excel	492
Tabla 28: Relación entre comandos bibliométricos y nivel de madurez	492
Tabla 29: Aporte estratégico del análisis en Excel	493
Tabla 30: Análisis general de los mapas de VOSviewer	520
Tabla 31: Clústeres temáticos generales identificados con VOSviewer	521
Tabla 32: Panorama general de los comandos aplicados en IEEE Xplore	522
Tabla 33: Patrones bibliométricos de VOSviewer aplicados a los comandos bibliométricos	524
Tabla 34: Análisis general integrado de los comandos bibliométricos	525
Tabla 35: Resumen de recursos y presupuesto por rubro	539



RESUMEN

La electrificación en movilidad desafía a las baterías comerciales a ser más eficientes, seguras, duraderas y amigables con el medio ambiente. Sin embargo, el avance tecnológico acelerado y la pluralidad de metodologías complican el establecimiento de una tecnología dominante, emergente y futura en vehículos eléctricos. Ante este contexto, el trabajo presenta un análisis bibliométrico que tiene como foco analizar la producción científica relacionada a los tipos de baterías comerciales utilizadas en vehículos eléctricos.

La investigación se llevó a cabo con enfoque cuantitativo, empleando un diseño bibliométrico descriptivo y analítico. Se revisaron los artículos científicos publicados en las últimas dos décadas que fueron indexados en las bases de datos Scopus, Web of Science, SciELO e IEEE Xplore. Para el análisis se usó Microsoft Excel para procesar estadísticamente y para visualizar las redes de co-autoría, co-ocurrencia de términos, citación, acoplamiento bibliográfico y cocitación con VOSviewer.

Los resultados muestran que las baterías tipo iones de litio son una tecnología consolidada evidenciada por una alta producción científica y redes de investigación maduras. Asimismo, se reconocen tecnologías emergentes tales como baterías de estado sólido, sodio-ion, litio-azufre y metal-aire, que si bien tienen relativamente baja producción científica, presentan un elevado potencial tecnológico. También pueden observarse tendencias transversales en la gestión térmica, seguridad, reciclaje y reducción de costos.

Se puede afirmar que el análisis bibliométrico permite observar claramente el grado de madurez tecnológica, las tendencias de investigación y aquellas baterías que presentan la mayor proyección, convirtiéndose en un instrumento estratégico para la toma de decisiones en investigación, desarrollo tecnológico y planificación energética.

Palabras clave: baterías comerciales, vehículos eléctricos, bibliometría, tecnologías emergentes, movilidad eléctrica.



ABSTRACT

Electrification in mobility challenges commercial batteries to be more efficient, safe, durable, and environmentally friendly. However, accelerated technological advancement and the plurality of methodologies complicate the establishment of a dominant, emerging and future technology in electric vehicles. In this context, the work presents a bibliometric analysis that focuses on analyzing the scientific production related to the types of commercial batteries used in electric vehicles.

The research was carried out with a quantitative approach, using a descriptive and analytical bibliometric design. Scientific articles published in the last two decades that were indexed in the Scopus, Web of Science, SciELO and IEEE Xplore databases were reviewed. For the analysis, Microsoft Excel was used to statistically process and to visualize the networks of co-authorship, co-occurrence of terms, citation, bibliographic coupling and cocitation with VOSviewer.

The results show that lithium-ion batteries are a consolidated technology evidenced by high scientific production and mature research networks. Likewise, emerging technologies such as solid-state, sodium-ion, lithium-sulfur and metal-air batteries are recognized, which, although they have relatively low scientific production, have a high technological potential. Cross-cutting trends can also be observed in thermal management, safety, recycling and cost reduction.

It can be said that the bibliometric analysis allows us to clearly observe the degree of technological maturity, the research trends and those batteries that present the greatest projection, becoming a strategic instrument for decision-making in research, technological development and energy planning.

Keywords: commercial batteries, electric vehicles, bibliometrics, emerging technologies, electric mobility.



CAPITULO I INTRODUCCIÓN

Tema

Estudio bibliométrico de los tipos de baterías comerciales para aplicaciones en vehículos eléctricos

El problema

El auge de la movilidad eléctrica está modificando la práctica de la industria automotriz en la dirección de las tecnologías más sostenibles, enfocada en los vehículos eléctricos (VE) que ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero respectivamente. Las baterías de iones de litio son actualmente las más comunes, pero la exigencia de mayor autonomía y sostenibilidad ha promovido el desarrollo de técnicas de tipo diferente entre las que se incluyen baterías recargables de magnesio, de estado sólido y de metal-aire. Países como Ecuador fomentan la utilización del vehículo eléctrico (VE) a través de políticas como la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. Un estudio bibliométrico sobre baterías para VE resulta crítico para identificar las tendencias y avances de estas, sirviendo para la identificación de tecnologías emergentes y la fundamentación de las decisiones que deben tomarse en la industria y la investigación en este campo.

1.1.Problema de investigación.

El estudio se centra en revisar, mediante métodos bibliométricos, tecnologías de baterías recientes y novedosas para vehículos eléctricos, con el propósito de ofrecer datos vitales que guíen las decisiones en el sector automotriz, así como influir en las políticas públicas dentro del ámbito del transporte eléctrico.

1.1.1. Problemática para investigar.

El crecimiento del transporte eléctrico está fomentando avances en la industria automotriz hacia soluciones más sostenibles, como los coches con cero emisiones, contribuyendo a reducir las emisiones de carbono. Aunque las baterías de iones de litio son comunes en el mercado, sus limitaciones en eficiencia, precio y efecto ambiental generan preocupaciones sobre su autonomía y durabilidad. Con el fin de potenciar la eficiencia energética y



minimizar el impacto medioambiental, nuevas tecnologías, como las baterías de magnesio, de estado sólido y las que reaccionan al aire, muestran un gran potencial.

En Ecuador, iniciativas como el Impulso Nacional a la Movilidad Eléctrica promueven la adopción de vehículos eléctricos dentro de los planes de desarrollo sostenible. Sin embargo, hay una falta de claridad sobre cómo está evolucionando la tecnología de baterías para vehículos eléctricos a nivel global y en diversas regiones. La escasez de datos dificulta la toma de decisiones en la industria automotriz, impulsando la necesidad de explorar nuevas investigaciones científicas y crear regulaciones fundamentadas en evidencia histórica.

1.1.2. Formulación de la pregunta de investigación

El creciente interés por los vehículos eléctricos ha aumentado la atención hacia las baterías comerciales. En la actualidad, las baterías tradicionales son las más utilizadas, pero existe una discrepancia entre su rendimiento y su costo. El objetivo de obtener más autonomía y mayor vida útil está motivando la investigación en baterías de magnesio, de estado sólido y metal-aire. Es fundamental estudiar las tendencias de investigación para entender las innovaciones, los retos y las oportunidades futuras. Un análisis bibliométrico facilitará la revisión de artículos científicos, métodos utilizados y áreas con alto potencial, proveyendo información crucial para el ámbito automotriz y el entorno académico.

¿Cuáles son las tendencias en la investigación sobre baterías para vehículos eléctricos, sus tecnologías y perspectivas futuras? Este conocimiento es esencial para avanzar en la comprensión, orientar decisiones tecnológicas, descubrir nuevas áreas de investigación y desarrollar políticas en el ámbito del transporte eléctrico.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar el estudio bibliométrico de los tipos de baterías comerciales para aplicaciones en vehículos eléctricos, mediante el uso de información de bases de datos científicas.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Analizar la evolución tecnológica de las baterías comerciales para vehículos eléctricos.
2. Describir los tipos de baterías comerciales empleadas en vehículos eléctricos.
3. Identificar tecnologías emergentes y tendencias de investigación en el campo de las baterías comerciales para vehículos eléctricos.

1.3. Alcance y delimitación

El objetivo de este análisis bibliométrico es examinar y comparar las diversas baterías comerciales que se utilizan en automóviles eléctricos, así como sus tecnologías y posibles desarrollos futuros, mediante un estudio detallado de la producción científica en bases de datos académicas tanto globales como regionales. Esta investigación facilitará la identificación de tendencias, innovaciones tecnológicas y nuevas áreas en el avance de baterías, con un enfoque especial en las aplicaciones dentro del contexto ecuatoriano.

La investigación se basa en un enfoque bibliométrico, apoyado por herramientas computacionales que hacen posible el análisis de datos científicos. Para ello, se emplearán bases de datos internacionales reconocidas como Scopus, IEEE Explore y Web of Science, además de bases regionales como Scielo y Latindex. Estas plataformas brindarán acceso a un amplio rango de publicaciones científicas relacionadas con el tema en estudio.



El software que se utilizará para la investigación es VOSviewer, una herramienta especializada en análisis bibliométrico. Entre sus funcionalidades, este programa permite:

1. Crear mapas de redes de colaboración científica que vinculan autores, instituciones y países.
2. Reconocer y definir nuevas formas de áreas temáticas mediante el análisis de palabras clave, coautorías y citas entre documentos.
3. Generar recursos visuales que representan efectivamente las tendencias en investigación a nivel mundial y regional.

Es apropiado definir una serie de criterios para orientar la extracción y el tratamiento de la información del trabajo de grado:

- Palabras clave: baterías comerciales, vehículos eléctricos, tecnologías emergentes, avances tecnológicos, tendencias, cooperación científica.
- Idiomas: inglés y español, para referirse a los enfoques desde las orientaciones globales y regionales.
- Intervalo temporal: las publicaciones referidas a los últimos 20 años.
- Clases de documento: artículos científicos, actas de congresos, revisiones académicas.

El tratamiento de la información que se derive de los datos que se recuperen, se realizará de acuerdo con las etapas que se describen a continuación, en la que se han establecido criterios en cada una de las etapas:

Criterios de inclusión y criterios de exclusión:

- Inclusión: artículos que tengan relación con baterías comerciales destinadas a vehículos eléctricos, documentos que estén indexados en las bases de datos seleccionadas y publicaciones que hayan tratado sobre tecnologías emergentes.
- Exclusión: artículos repetidos, documentos que no se relacionan con el tema de investigación, publicaciones en idiomas diferentes al inglés y al español,



además de trabajos que no cumplan con los criterios de indexación de las bases de datos elegidas.

Se llevará a cabo una revisión preliminar de los resúmenes de los artículos para confirmar su pertinencia respecto al tema de investigación. Los artículos que se elijan en la etapa previa serán analizados completamente para obtener información esencial sobre tecnologías, aplicaciones y tendencias. La información extraída se organizará y analizará en función de las métricas bibliométricas, las tecnologías de baterías identificadas, y su aplicabilidad en el contexto ecuatoriano.

Al llevar a cabo la investigación, es probable que surjan interrogantes sobre las tendencias y tecnologías de las baterías comerciales para vehículos eléctricos. Para dar respuesta a estas preguntas, se toman como referencia los criterios de búsqueda propuestos. De esta manera, el análisis podrá ser absolutamente acorde con el desarrollo del trabajo.

La posibilidad de realizar el trabajo cuenta con el apoyo de la disponibilidad de bases de datos científicas, el uso de herramientas como VOSviewer y la intención de manejar la información recolectada de manera adecuada y minuciosa.

Este análisis beneficiará a varios sectores:

- Académico: investigadores, universidades y alumnos que se interesen por las tecnologías de almacenamiento de energía y la movilidad sostenible.
- Industrial: compañías del ámbito automotriz y de energías renovables que deseen implementar nuevas tecnologías de baterías.
- Político: organismos gubernamentales que desarrollen políticas públicas en movilidad eléctrica y sostenibilidad, fundamentadas en evidencia científica sólida.

Con esta organización y enfoque, la investigación no solo brindará un análisis minucioso de las baterías comerciales para vehículos eléctricos, sino que también funcionará como una herramienta esencial para guiar decisiones estratégicas en el área tecnológica y energética, con un enfoque particular en Ecuador.



1.4. Justificación

El progreso hacia la movilidad eléctrica resulta fundamental para un transporte sostenible, de cuyo desarrollo son responsables, en gran medida, las baterías comerciales de alto rendimiento (BRAP). La existencia de la diversidad de tipos de batería junto a la evolución rápida y continua de las tecnologías que estas emplean hacen que las soluciones para el vehículo eléctrico no sean simples y que se conviertan en un desafío para los investigadores y para los fabricantes en un futuro próximo. Y es en este sentido que el estudio presenta un análisis bibliométrico con un enfoque exhaustivo sobre las tecnologías de baterías para el VE a través de una revisión sistemática de las bases de datos académicas, con el propósito de ofrecer un retrato extenso sobre la evolución de estas tecnologías, sus características químicas y su mejora en cuanto a rendimiento y seguridad.

Las motivaciones por las que se desarrolla el estudio gira entorno la necesidad de poder identificar aquellas tecnologías emergentes que suplan y puedan dar respuesta a problemas derivados de la autonomía, los costes de fabricación y la sostenibilidad de los materiales. Con la descripción de los tipos de batería y su aplicación comercial, se hace posible obtener información básica para la realización de un plan de innovación y para que investigadores e ingenieros puedan orientar su esfuerzo en tecnologías prometedoras.

El análisis quiere revelar tendencias y colaboraciones internacionales, discriminando a los actores relevantes para el ámbito y las áreas de oportunidad para la investigación. Resumiendo, el estudio ofrece a la industria de la ingeniería eléctrica y a la ciencia de los materiales un análisis exhaustivo de la evolución de las tecnologías de baterías para el VE, destacando las tecnologías emergentes con potencialidades para poder satisfacer no sólo las demandas del mercado sino también aquellas del medio ambiente



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La necesidad de vehículos con mayor autonomía y recarga, menos tiempo de recarga y menor impacto ambiental ha llevado a la realización de estudios bibliométricos para identificar tendencias, áreas de innovación y tecnologías emergentes, proporcionándonos una visión mundial de su evolución y sus potenciales impactos en el medio ambiente y la economía.

La evolución de las baterías para vehículos eléctricos ha tenido lugar a partir de los años sesenta del pasado siglo, bajo el impulso de la búsqueda de fuentes de energía portátiles, económicamente eficientes y de bajo mantenimiento. Uno de los primeros pasos en esta dirección está constituido por las baterías de plomo-ácido sin mantenimiento, cuya característica más evidente se encuentra en su electrolito inmovilizado, hecho que las hacía aptas para aplicaciones fijas y móviles al mismo tiempo, constituyendo pues una muy buena solución al problema de las fugas de electrolitos. Este grupo de baterías, las de plomo-ácido sin mantenimiento, exhibe una versión con electrolito en gel y un sistema de recombinación de oxígeno lo que les permite a su vez una bajísima autodescarga y unas menores emisiones de gases durante el proceso de carga, aspectos ambos que han facilitado su aplicación a vehículos eléctricos de baja demanda energética y sistemas de respaldo.[1]

La movilidad eléctrica necesita baterías comerciales para funcionar bien, ya que son la parte principal de la tecnología que hace que el transporte sea mejor para el medio ambiente y más eficiente. Los vehículos eléctricos pueden competir con los coches que utilizan gas o diésel gracias a estas baterías. Estas baterías han provocado un gran cambio en la industria del automóvil haciendo que los vehículos eléctricos sean posibles y lo suficientemente buenos como para desafiar a los coches que utilizan gas o diésel. Las baterías pueden almacenar más energía ahora que antes, lo que significa que los coches eléctricos pueden ir más lejos sin necesidad de cargar y pueden cargar más rápido. Además, las baterías han sido esenciales para mejorar la eficiencia energética de los vehículos, ya que permiten la recuperación de energía durante la frenada y la desaceleración. No obstante, la implementación masiva de vehículos



eléctricos también ha presentado nuevos desafíos, como la gestión térmica de las baterías para asegurar su rendimiento y durabilidad a largo plazo.[2]

Investigadores como Ali, Calasan y Gandoman [3] han ahondado en la importancia de la fiabilidad de las baterías en aplicaciones de movilidad eléctrica, subrayando la necesidad de desarrollar estrategias de gestión de baterías más robustas y eficientes. Por otro lado, la seguridad de las baterías es otro aspecto crítico para considerar. Algunos eventos recientes, como los que Marlair, Lecocq y Borders estudiaron, han demostrado lo vital que es tener sistemas de batería seguros y confiables. Estos sistemas ayudan a detener problemas como cortocircuitos, sobrecalentamiento y otros peligros que pueden ocurrir con baterías de iones de litio.

Cada vez más personas compran y usan coches eléctricos en todo el mundo. Las baterías de iones de litio son buenas para almacenar mucha energía, duran mucho tiempo y son fáciles de recargar. Según Bucur [5], las baterías de iones de litio son más seguras que otros tipos de baterías porque no tienen dentro un metal que pueda incendiarse o explotar. Son mejores para el medio ambiente porque no tienen metales dañinos como cadmio o plomo, que a menudo se encuentran en otras baterías. Sin embargo, es importante gestionar adecuadamente su reciclaje para minimizar cualquier impacto ambiental. En comparación con las baterías de plomo-ácido. Los ánodos y cátodos de las baterías de ion. litio también tienen varias categorías y usos, y los ánodos y cátodos pueden usar diferentes elementos en sus formulaciones, la mayoría de material se usa como ánodos. Los grafenos ánodo de grafeno, mientras que el cátodo tiene diferentes categorías. Los principales tipos de baterías de litio son óxido de cobalto de litio (LCO), espinela de manganeso de litio (LMO), fosfato de hierro y litio (LFP), óxido de cobalto de níquel y manganeso (NMC) y níquel y manganeso cobalto de aluminio (NCA)).[6].

Los tipos de baterías disponibles para vehículos eléctricos son varios, desde la serie de Ion-litio hasta los NiMH (Níquel-hidreto metálico), y versiones sofisticadas de las convencionales baterías PbA (plomo-ácido) como PbA-EFB. y PbA-EFB[6]. El docente Farre-Delgado [7] ofreció una descripción minuciosa de las baterías de iones de litio aplicadas en la movilidad eléctrica, poniendo énfasis en su rendimiento y longevidad en diferentes condiciones de uso. A continuación, se describen las



propiedades de las baterías de iones de litio: Las baterías de iones de litio, en particular las del tipo LiCoO_2 , son en este momento la opción más ventajosa para los automóviles eléctricos gracias a su gran eficiencia, poco requerimiento de mantenimiento y su fácil reciclaje. Ofrecen el doble de densidad energética en comparación con las baterías de níquel-cadmio, sin efecto memoria, aunque requieren refrigeración continua para evitar riesgos de sobrecalentamiento y explosión. Las baterías LiFePO_4 , una variante de las de ión-litio, no utilizan cobalto, lo que les confiere mayor seguridad y estabilidad en situaciones de sobrecalentamiento.

La batería de automóvil eléctrico reutilizada reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y reduce la huella de carbono, asegura una gestión adecuada de los desechos, evitando la liberación de productos químicos peligrosos, así como la reducción del impacto ambiental de la extracción de baterías y su eliminación, y contribuye a la expansión de fuentes de energía renovable a la red de electricidad, aumentando la estabilidad del sistema [8]. Como se mencionó anteriormente, las baterías de automóviles eléctricos se utilizan principalmente en aplicaciones de almacenamiento de energía en sistemas eléctricos, donde también pueden proporcionar servicios adicionales, como la estabilización de la red y la administración de picos de demanda. Su batería de iones de litio está especialmente recomendada por su alta densidad de energía y capacidad para trabajar en condiciones extremas. Además, se pretende establecer un sistema de economía circular y prolongar su vida útil con oportunidades reducidas de adquirir nuevas baterías.

G. Pistoia y B. Liaw [9] indican que el cambio hacia la movilidad eléctrica en América del Sur, a pesar de ser gradual, ha provocado una demanda en aumento de baterías. En la región, la abundancia de materias primas como el litio ha consolidado a naciones como Bolivia y Chile como protagonistas fundamentales en este sector.



2.2. Bases teóricas de las baterías comerciales para vehículos eléctricos

En esta sección se muestra información recabada en bases de datos internacionales reconocidas como Scopus y Web of Science, junto con bases regionales como Scielo y Latindex, que comprenden las bases teóricas del estudio. Estas bases teóricas constituyen un marco conceptual sólido que permite mostrar y analizar el tema con claridad y fundamentación.

2.2.1. Importancia de las baterías comerciales en la movilidad eléctrica

La transición a la movilidad eléctrica representa un cambio de paradigma en el sector del automovilismo, que debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Las baterías comerciales son la piedra angular de este cambio, ya que determinan factores importantes como la autonomía, la eficiencia y los costes operativos de los vehículos eléctricos.

Gracias a su alta densidad energética (hasta un 265%), las baterías de iones de litio (Li-ion) Actualmente este tipo de baterías son líderes en el mercado, y la capacidad de soportar múltiples ciclos de carga y descarga, han ido mejorando significativamente el rendimiento de los vehículos eléctricos. [2] Estas baterías también han impulsado el desarrollo de soluciones sostenibles para el almacenamiento de energía en sistemas complementarios como las energías renovables.

2.2.2. Papel de las baterías en la transición hacia la movilidad eléctrica

Los acumuladores de iones de litio son la tecnología de referencia para los vehículos eléctricos (VE) por su alta densidad de energía, buena longitud de vida útil y, dentro de todas las tecnologías disponibles, una seguridad apreciable [3]. Estas ventajas permiten a los vehículos eléctricos tener autonomías de funcionamiento más amplias y poder realizar las recargas menos frecuentemente, lo que son las condiciones necesarias para que las tecnologías de VE puedan extenderse cada vez más.

Sin embargo, las baterías de iones de litio dan lugar a riesgos como la instalación de procedimientos de seguridad por la seguridad de los usuarios, sobre todo en situaciones de altas temperaturas o bien cuando han sufrido daños mecánicos o de componentes; el rendimiento térmico debe estar presente si se pretende optimizar la vida útil [10].

Investigadores como Ali, Calasan y Gandoman [3] revisan los avances y retos de las baterías de iones de litio cuando se implementan en un formato eléctrico; otros investigadores, como Pahari, Tyagi y Puravankara [10], hacen hincapié en su evolución dentro del ámbito de la movilidad eléctrica y muestran datos sobre sus últimas innovaciones.

Las baterías de iones de litio son el principal mecanismo para conseguir la reducción de emisiones contaminantes derivadas de los medios de transporte, pero también presentan problemas medioambientales que deben ser atendidos [11]. Emergen, por lo tanto, las baterías de iones de



sodio como alternativas potenciales. En el fondo, las baterías de iones de litio son un pilar básico para llegar a la movilidad eléctrica, aunque también hacen necesaria la evolución de métodos para su sostenibilidad y los tratos de su cadena logística [9].

2.3. Evolución tecnológica de las baterías comerciales para vehículos eléctricos

Las primeras baterías para vehículos eléctricos fueron las de plomo-ácido, que surgieron a lo largo del siglo XIX, si bien su baja densidad energética y la escasa vida de funcionamiento la convirtieron en una opción poco aplicable en tiempos actuales [10]. Su costo asequible favoreció su aplicación en los motores de arranque, aunque acabaron siendo sustituidas por baterías de níquel-cadmio (NiCd) y níquel-hidruro metálico (NiMH) en el siglo XX, aunque todavía presentaban restricciones en densidad energética y toxicidad para su adopción [2]. Las baterías de NiMH tuvieron un papel destacado en los automóviles híbridos, como por ejemplo el Toyota Prius [11].

Las baterías de iones de litio irrumpieron en la década de 1990 y supusieron un punto de inflexión para el sector debido a, entre otras, su alta densidad energética, su peso reducido y su capacidad para realizar múltiples ciclos de carga [12]; además, se desarrollaron nuevas tecnologías derivadas del litio para proporcionar un equilibrio entre energía, seguridad y coste (litio-ferrofosfato (LFP) o níquel-manganeso-cobalto (NMC)) [13].

Más recientemente, las baterías de estado sólido que, mediante un sistema que sustituye electrolitos líquidos por electrolitos sólidos, comienzan a aprovecharse, debido a su gran seguridad y alta densidad energética [14]. Empresas como Toyota o QuantumScape trabajan en su desarrollo y se espera que puedan comercializarse en un plazo de 10 años [15].

Por otro lado, la tecnología de las baterías tiene que enfrentarse a muchas limitaciones principalmente relacionadas con el suministro sostenible de materiales clave (como el litio, el cobalto o el níquel), la introducción del reciclado o los problemas de reducción del coste [16]; los recientes estudios van más allá y exploran alternativas como las baterías de litio-azufre o las de metal-aire para sortear las limitaciones energéticas y la sostenibilidad [17].

2.3.1. Desarrollo histórico de las tecnologías de baterías.

Primera tecnología de almacenamiento electroquímico Celda Voltaica

La primera celda electroquímica, la pila de Volta, fue inventada por Alessandro Volta en 1800. Compuesta por placas de zinc y cobre separadas por tela empapada en agua salada, marcó el inicio de la



electricidad moderna al proporcionar una fuente de corriente continua [18].

Batería de plomo-ácido

En el año 1859, Gaston Planté creó la batería de plomo-ácido, marcando la primera recargable de su tipo. Su estructura, compuesta por placas de plomo inmersas en ácido sulfúrico, sigue siendo utilizada actualmente debido a su sencillez, coste económico y capacidad para almacenar corriente [10]. Fue fundamental para usos estacionarios y automóviles eléctricos durante el siglo XX.

Innovaciones en el siglo XX

Baterías alcalinas: níquel-cadmio (NiCd) y níquel-hierro (NiFe)

Durante las primeras décadas del siglo XX, Thomas Edison introdujo la batería de níquel-hierro, reconocida por su robustez [19]. Las baterías de níquel-cadmio también ganaron aceptación por su mayor capacidad de energía, pese a que la toxicidad del cadmio restringió su uso [20].

Transformación de las baterías de litio

A partir de 1970, comenzaron los estudios sobre cátodos de litio, y en 1991, Sony presentó la primera batería recargable de iones de litio [21]. Este progreso transformó por completo la industria y permitió el surgimiento de dispositivos portátiles y automóviles eléctricos.

Avances recientes y nuevas tecnologías

Baterías de litio avanzadas

Desde su introducción, las baterías de iones de litio han mejorado en densidad energética, seguridad y costo. Nuevas químicas como el LFP y NMC han ampliado su uso, especialmente en vehículos eléctricos [22].

Baterías de estado sólido

Las baterías de estado sólido, que usan electrolitos sólidos, prometen mayor seguridad y densidad energética [16]. Se espera que redefinan el almacenamiento de energía en las próximas décadas.

El progreso de las baterías ha sido fundamental en el desarrollo tecnológico y en la generación de alternativas energéticas ecológicas, aparatos móviles y automóviles eléctricos, promoviendo la creatividad en diversos campos.

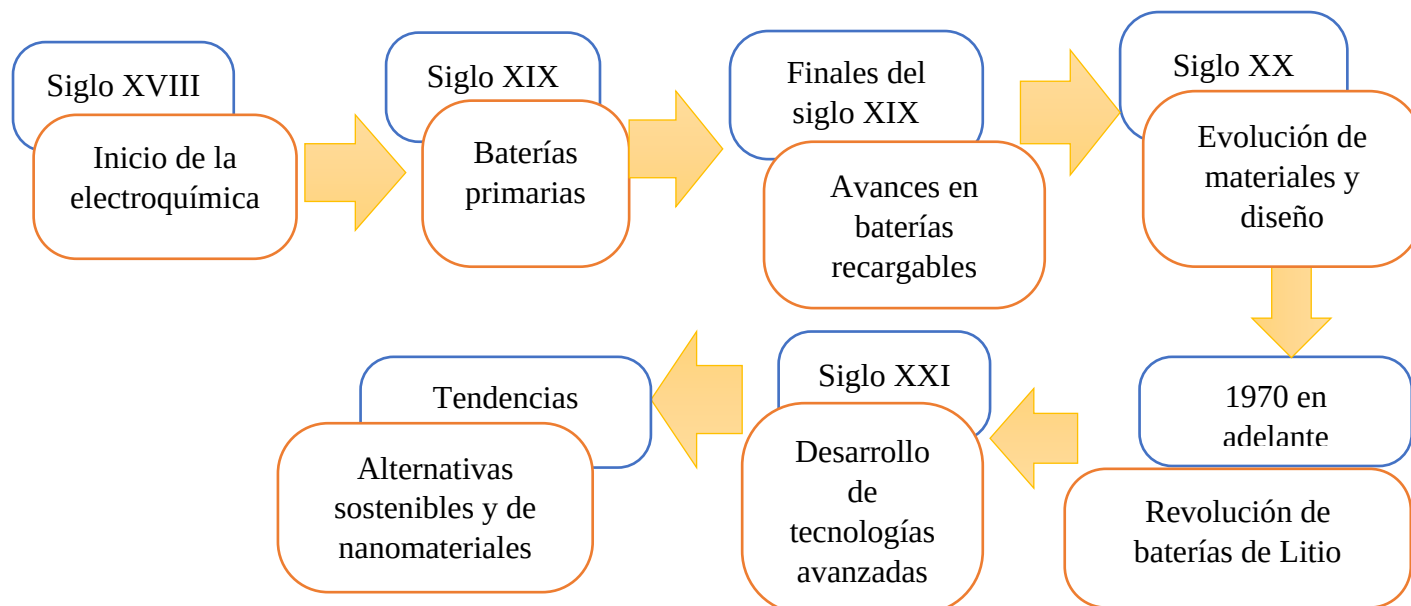


Ilustración 1: Evolución de las baterías

Tal como se puede observar en la ilustración 1, un recorrido temporal describió el desarrollo de las baterías, ya fuese este un resultado de los diferentes avances, bien de los progresos en la tecnología concreta o en la estructura de dichas baterías. Un análisis detallado de cada evolución a continuación será capaz de ilustrarnos como las baterías han ido evolucionado con respecto a su eficiencia, almacenamiento de energía y rendimiento. Esto ocurre desde los principios de la batería en el siglo XVIII hasta la llegada de las complejas baterías del siglo XXI.

La evolución de las baterías a lo largo del tiempo pone de manifiesto una importante progresión en eficiencia, capacidad de almacenamiento y rendimiento. Con el descubrimiento de la pila de Volta en 1800, se establecieron unas bases primordiales para el almacenamiento electroquímico, por muy rudimentaria que sea, esta tecnología era capaz de proporcionar una corriente continua y representa, por lo tanto, el principio de nuestra actual electricidad moderna; aunque muy limitada en capacidad y rendimiento, era adecuada solamente para los experimentos científicos de la época [10].

La invención de la batería de plomo-ácido (PbA) en el año 1859 supone un gran avance técnico en términos de capacidad de almacenamiento y



recargabilidad, ya que se puede reutilizar por vez, una batería mediante los ciclos de carga y de descarga, gracias a la existencia de una reacción química invertible, lo que amplió notablemente la aplicabilidad de esta tecnología en forma de sistemas estacionarios y, posteriormente, en vehículos eléctricos [11]. A pesar de su bajo precio y su simplicidad, el almacenamiento electroquímico de plomo ácido (PbA) era aún muy limitado en términos de densidad energética y de rendimiento; a pesar de ello supuso el punto de partida para el desarrollo de baterías recargables más avanzadas [11].

Las baterías de níquel-cadmio (NiCd) y níquel-hierro (NiFe) aparecieron a principios del siglo XX. Con las mejoras que estas tecnologías introdujeron en densidad energética y durabilidad el mercado de baterías comerciales para vehículos eléctricos revolucionó la industria automotriz. Así, podían alimentar en condiciones adversas dispositivos portátiles y aplicaciones industriales, ya que dicha reacción química era capaz de entregar energía de forma estable incluso con descargas extremas; sin embargo, el alto coste de producción junto con la toxicidad que generó el cadmio fue lo que restringió la adopción de estas baterías [12].

La auténtica revolución se produjo durante la segunda mitad del siglo XX con la aparición comercial de las baterías de iones de litio (Li-ion) en 1991, que transformaron la industria gracias a su alta densidad energética, su excelente comportamiento en ciclos de carga y descarga, y su capacidad de alimentar dispositivos incluso más pequeños y potentes [13]. Esta tecnología ha tenido una importancia fundamental en el desarrollo del hardware electrónico actual, pudiendo citarse como ejemplo teléfonos móviles y laptops; además, ha sentado las bases para la electrificación de vehículos [13].

Ya en el siglo XXI, las baterías de litio han seguido evolucionando a partir de los nuevos compuestos químicos (ferro fosfato de litio, LFP y níquel-manganeso-cobalto, NMC), aumentando la seguridad, disminuyendo el coste y ampliando la vida útil, razones por las cuales han sido indispensables en casos de uso más exigentes como los coches eléctricos [14].

Por último, las baterías de estado sólido representan el siguiente gran paso en almacenamiento energético. Aunque en desarrollo, prometen solucionar las limitaciones que presentan las actuales a partir de electrolitos sólidos y mayor densidad energética, eficiencia y seguridad, marcando un nuevo cambio en la forma de entender el almacenamiento energético y permitiendo aplicaciones más avanzadas y sostenibles [15]. Por lo tanto, la evolución de las baterías ha permitido además de aumentar capacidad y rendimiento, la miniaturización de dispositivos, la electrificación del transporte o la evolución de tecnologías más



sostenibles, lo que indica la forma en la que estas tecnologías se van adaptando a la necesidad de cada época marcando un paso hacia un futuro energético más eficiente y sostenible.

2.3.2. Principales avances tecnológicos en baterías comerciales.

La innovación en baterías comerciales ha sido fundamental en el progreso tecnológico y en la transición energética a nivel global. Desde su creación, las baterías han sido transformadas significativamente en términos de eficacia, capacidad de acumulación, seguridad y sostenibilidad. Estos desarrollos no solo han estado vinculados con la portabilidad de dispositivos y su compactación, sino que también han sido esenciales para el avance de tecnologías como los automóviles eléctricos y las energías renovables.

○ Mejoras en materiales activos

Cátodos de alto rendimiento

El desarrollo de materiales anódicos ha sido fundamental para aumentar la densidad energética y la estabilidad de las baterías. Introducidos en la década de 1980, los ánodos basados en óxido de litio y cobalto (LiCoO_2) establecieron el estándar para las primeras baterías de litio [11]. Posteriormente, se adoptaron materiales como el óxido de níquel-manganeso-cobalto (NMC) y el fosfato de hierro y litio (LFP) para mejorar la seguridad, reducir los costos y ajustar la densidad de energía y la durabilidad [16], [17].

Ánodos avanzados

El grafito ha sido el material de electrodo dominante debido a su alta capacidad específica y estabilidad electroquímica. Sin embargo, se han explorado alternativas como el silicio, que ofrece hasta 10 veces la capacidad teórica del grafito, a pesar de los problemas asociados a la expansión de volumen durante los ciclos de carga y descarga [18]. La investigación actual se centra en electrodos híbridos y nanomateriales para superar estas limitaciones [19].

○ Innovaciones en diseño y arquitectura

Baterías de estado sólido

Una de las innovaciones más prometedoras en el diseño de baterías es el desarrollo de baterías de estado sólido. una introducción. Electrolito líquido para sólidos. Este diseño mejora la seguridad, elimina los riesgos de choque térmico y permite el uso de materiales de alto rendimiento como el litio metálico [20]. Estas baterías también prometen aumentar la densidad de energía y extender la vida útil.

Celdas de alta densidad de energía

El diseño de las celdas ha evolucionado para maximizar la densidad de energía a nivel de paquete. Tecnologías como cell-in-pack eliminan las unidades intermedias, mejoran la eficiencia de la capacidad y reducen los



costos [15]. Este método es utilizado por los principales fabricantes como Tesla y CATL.

- **Avances en gestión térmica y electrónica**

- Sistemas de gestión de baterías (BMS)**

- Esto es necesario para maximizar el rendimiento y garantizar la seguridad de las baterías comerciales. Estos sistemas monitorean parámetros clave como la temperatura, el voltaje y la corriente, lo que permite un funcionamiento eficiente y protección contra condiciones adversas [21]. Los avances recientes en inteligencia artificial y sensores han mejorado significativamente la precisión y las capacidades predictivas de BMS [10].

- Gestión térmica**

- La gestión térmica ha sido otro aspecto clave de la innovación en baterías. Los sistemas de refrigeración avanzados basados en fluidos y materiales de cambio de fase han aumentado la confiabilidad operativa, especialmente en aplicaciones de alto rendimiento como los vehículos eléctricos [10].

- Sostenibilidad y reciclaje**

- A medida que aumenta la demanda de baterías, la sostenibilidad se vuelve cada vez más importante. Ha surgido como una tarea importante. Los avances en el reciclaje, como la recuperación eficiente de litio, cobalto y níquel reducen el impacto ambiental y garantizan la disponibilidad de materiales importantes [11]. Además, se están desarrollando baterías basadas en materiales abundantes y sostenibles, como las de iones de sodio, que pueden complementar las tecnologías existentes [12].

La figura que aparece a continuación es un diagrama que resume los principales hitos de los avances tecnológicos en las baterías comerciales, desde los avances en los materiales activos, pasando por las innovaciones en diseño y arquitectura, los avances en gestión térmica y electrónica, así como las estrategias hacia la sostenibilidad. Dicho análisis busca plantear una clara visión de los principales hitos que han configurado la evolución de las baterías a lo largo del tiempo.



Ilustración 2: Avances tecnológicos de las baterías comerciales



El diagrama presentado en la Ilustración 2, resume como ya se mencionó los principales avances tecnológicos que han impulsado el desarrollo de las baterías comerciales. Desde las mejoras en materiales activos hasta las innovaciones en diseño, arquitectura y gestión térmica, cada progreso ha sido fundamental para satisfacer las crecientes demandas energéticas de diversas industrias. A continuación, se analiza en detalle cómo estos avances han transformado el rendimiento, la eficiencia y la sostenibilidad de las baterías, posicionándolas como una tecnología clave en el panorama actual y futuro.

El avance experimentado por las baterías comerciales ha sido un proceso continuo en función de la complejidad creciente para las demandas energéticas. En el ámbito de los materiales activos las mejoras en torno a cátodos y ánodos han permitido mejoras notables en el aumento de la densidad energética y la estabilidad. La aparición de compuestos como el óxido de litio-cobalto (LiCoO_2) en la década de 1980 marcó una mejora en la instauración de la base futura de las baterías de litio, para posteriormente introducir el empleo de materiales como el níquel-manganeso-cobalto (NMC) o la de fosfato de hierro y litio (LFP); todos estos compuestos han ayudado a mejorar la seguridad, la durabilidad y los costes desde una óptica de precios, lo que ha favorecido la adopción de la batería de litio en aplicaciones de mayor alcance, como las que cohabitan en la industria automovilística dentro del ámbito de los vehículos eléctricos[14].

Por su parte, el diseño y la arquitectura de las baterías también han ido mejorando para obtener un rendimiento óptimo. Las baterías de estado sólido suponían una mejora en tanto que sustituían el electrolito líquido por uno sólido, lo que suponía una mejora notable en la densidad energética y la seguridad. Más aun el diseño cell-in-pack ha permitido obtener un alto rendimiento energético y costes de producción; elementos básicos para garantizar la adopción de un elemento pronto a ser comercializado como la batería de los vehículos eléctricos [15].

La gestión térmica y electrónica, los sistemas BMS (Battery Management System) se han convertido ya en una herramienta indispensable que permita obtener un rendimiento sin complicaciones y garantizar la seguridad del sistema. Los avances en inteligencia artificial aumentan la capacidad predictiva del sistema, con un mayor control sobre parámetros tan importantes como la temperatura, la tensión o la corriente[22]. A todo ello debemos añadir los sistemas avanzados de refrigeración, los cuales favorecen la fiabilidad operativa, especialmente en el sector de aplicaciones específicas.



Finalmente, la sostenibilidad ha sido capaz de convertirse en un enfoque determinante en el desarrollo de baterías modernas. Las recuperaciones eficientes de materiales como, por ejemplo, el Litio, el Cobalto o el Níquel han permitido reducir drásticamente el impacto ambiental que tienen las baterías mientras que en la investigación de materiales alternativos como, por ejemplo, el Sodio, las nuevas posibilidades constituyen el objetivo hacia un futuro más sostenible [23].

De manera global, estos avances, por añadidura, no solo han permitido mejorar la eficiencia o la capacidad de almacenamiento de las baterías, o la seguridad que ofrecen, sino que han ayudado a posibilitar una transformación de industrias clave, desde dispositivos electrónicos hasta energías renovables [24]. El transporte eléctrico, por su parte, promete nuevas e importantes innovaciones con las tecnologías de las baterías de estado sólido como, por ejemplo, las que pueden liderar el siguiente periodo de la revolución tecnológica.

2.3.3. Factores que han impulsado los avances tecnológicos.

La revolución del desarrollo tecnológico se ha visto determinada en un equilibrio de distintas causas, pero la importancia de la antigua demanda de autonomía, seguridad y sostenibilidad ha tenido repercusiones en muchas de las aplicaciones industriales y domésticas. La tecnología ha avanzado gracias a la convergencia de innovaciones en distintos ámbitos de la ciencia y de la técnica. Así, por ejemplo, los avances en la miniaturización de materiales y componentes han contribuido a la concepción de dispositivos más compactos y ligeros, facilitando aplicaciones muy frecuentes en vehículos eléctricos, dispositivos portátiles. Los avances en catalizadores también han permitido aumentar exponencialmente la eficiencia y el rendimiento de los procesos electroquímicos que son la esencia del funcionamiento de las baterías y los sistemas de almacenamiento de energía.[25]

El proceso de innovación no es sólo cuestión de tecnología, sino que buena parte de esta innovación ha venido influenciada por las políticas gubernamentales que han contribuido a acelerar la transferencia del conocimiento, en muchos casos por metodologías de subsidios a la investigación, en otras, mediante programas de incentivos fiscales, y por marcos regulatorios. Un caso interesante es el caso de los catalizadores de bajo coste que evolucionaron a base de metales de bajo coste como el hierro y el manganeso, los cuales no sólo han permitido una mayor eficiencia en la producción de baterías de iones de litio, sino que han contribuido a reducir los costes de fabricación. Además, la miniaturización de determinados



componentes ha contribuido a mejorar el diseño de las baterías, aumentando su densidad de energía y su durabilidad, dos parámetros críticos para la adopción masiva de la tecnología sostenible[12].

De manera alternativa, la sostenibilidad se ha convertido en un impulsor esencial para el desarrollo tecnológico, promoviendo métodos tales como el reciclaje y la reutilización de materiales fundamentales. Compuestos como el cobalto y el litio, que son vitales en la fabricación de baterías, están siendo cada vez más recuperados mediante procesos de reciclaje sofisticados que ayudan a disminuir la dependencia de la extracción de recursos naturales y a reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente. Acciones no solo ecoeficientes, sino que se podrían considerar también una estrategia económica vinculada a asegurar el suministro de materiales cada vez más necesarios gracias a una demanda global.[26]

Finalmente, la integración con energías renovables ha puesto en marcha nuevas oportunidades en el almacenamiento energético. Con los sistemas de almacenamiento estacionario, nos encontramos con el aprovechamiento de baterías de segunda vida, o sea, baterías que han agotado el uso primario y que tienen todavía alguna utilidad en contextos residenciales e industriales. Una opción que permite no solo maximizar la utilidad de los materiales empleados, ni mucho menos reforzar una transición hacia un modelo energético más sostenible, sino una opción que garantiza la posibilidad de asegurar todavía una mayor credibilidad y estabilidad en la gestión de fuentes de energía de naturaleza interrumpida tales como la solar y la eólica.[14]

2.4. Clasificación de las baterías comerciales para vehículos eléctricos

La evolución tecnológica de las baterías para automóviles eléctricos se encuentra en un constante intento de equilibrar rendimiento, coste y sostenibilidad. Cada tipo de batería continuó desempeñando, de forma más o menos significativa, un papel importante en dicho proceso, aunque también lo hizo con limitaciones y ventajas.

Las baterías de plomo ácido (PbA), tecnología precursora de la moderna, constituyeron la base de la era del almacenamiento de la electricidad en vehículos. Su capacidad de carga y su bajo coste fomentaron, en su segunda mitad de siglo XX, la adopción de este tipo de batería, aunque su baja densidad de energía e impacto medioambiental de los materiales empleados la relegaron pronto a sistemas de respaldo y al uso en vehículos de menor capacidad de carga [27].



Las baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH) constituyeron una evolución importante, ya que ofrecían una elevada densidad de energía y una vida útil más prolongada. Estas baterías son las que llevaron a la introducción de los primeros automóviles híbridos comerciales, siendo esta una muestra de su mejor desempeño frente a las PbA. Sin embargo, sus altos costes de producción, peso elevado y menor eficiencia, en comparación con las tecnologías de iones de litio, hicieron que perdieran la batalla frente a las modernas tecnologías de baterías para VE en el mercado [28].

Las baterías de Li-ion constituyeron un punto de inflexión de la evolución tecnológica de las baterías para VE, ya que ofrecieron no sólo una alta densidad de energía, sino también una flexibilidad muy importante en su diseño, que podía adaptarse en el contexto de diferentes aplicaciones. Por ejemplo, los avances en los materiales de cátodos y ánodos, como el uso de combinaciones de níquel-manganeso-cobalto (NMC) o fosfato de hierro y litio (LFP), hicieron posible mejorar en aspectos clave, como capacidad, seguridad y coste. Así, las baterías NMC conseguirían un equilibrio entre densidad de carga y coste, mientras que las LFP serían implementadas en aplicaciones sencillas que priorizan la seguridad y la durabilidad de las baterías, a expensas de su menor capacidad energética [13].

No obstante, lo anterior, estas pilas también cuentan con limitaciones muy importantes derivadas del envejecimiento de sus materiales activos tras el uso y de la complejidad de los procesos del reciclado de componente. Por lo anteriormente expuesto, se han impulsado líneas de investigación de dispositivos de baterías de tecnología más avanzada como las baterías de estado sólido para mejorar los índices de seguridad y la capacidad por encima de las actuales [2].

2.5. Perspectivas globales y regionales en el desarrollo de baterías para vehículos eléctricos

El desarrollo de las baterías para autos eléctricos se articula con la innovación y la gestión de los recursos. Las baterías de estado sólido y las de litio-aire se posicionan a nivel internacional como protagonistas del desarrollo industrial, al tiempo que América del Sur se reivindica como un proveedor de litio gracias a la abundancia de dicho recurso en el continente.

En el ámbito regional, Ecuador tiene limitaciones en la adopción de tecnologías para autos eléctricos, no obstante, sus políticas públicas y su impulso hacia las energías renovables le ofrecen una clara ventaja comparativa.

La posibilidad de éxito en esta transformación dependerá de cómo se sea capaz de gestionar los recursos, de innovar y de poner en marcha políticas públicas de carácter global y regional.

**2.5.1. Situación global de las baterías comerciales para vehículos eléctricos.**

Las innovaciones tecnológicas en el ámbito de las baterías para coches eléctricos (CE) juegan un papel crucial en la mejora de la mayor eficiencia y sostenibilidad. Las baterías de estado sólido y las baterías de litio-aire aparecen como tecnologías emergentes que poseen un importante potencial para la transformación de la industria. Las baterías de estado sólido, en particular, ofrecen mejor seguridad, densidad energética y durabilidad respecto de las baterías de litio estándares lo que permitiría revolucionar en gran medida el mercado de los CE al permitir la reducción de los costos en el largo plazo y el aumento de la autonomía de los vehículos. Asimismo, las baterías de litio-aire ofrecen la posibilidad de dotar de una densidad energética aún superior que puede ser clave para afrontar la limitación existente en la autonomía de los CE [29]. Dichas innovaciones suponen la punta de lanza en la mejora de las baterías comerciales, pero deben aún afrontar importantes retos como por ejemplo la manufactura a gran escala, la estabilidad y la reducción de costos.

2.5.2. Competitividad entre tecnologías emergentes y su adopción en diferentes mercados.

El vertiginoso desarrollo de las baterías de uso comercial viene acompasado por una feroz competencia entre las tecnologías en desarrollo; las empresas y administraciones públicas impulsan la investigación y el desarrollo y, dependiendo de la inmensidad de la demanda de mercado, se irá conociendo su índice de adopción. Los consumidores piden particularmente autonomía y precios que se adapten a los de una tecnología dominante que competirá para posicionar su tecnología alcanzando un suficiente equilibrio. Esto es algo que no solo afectará a lo tecnológico, sino también a la geopolítica del suministro de materias primas, donde la adopción de las tecnologías emergentes habrá de basarse en su capacidad para atender las demandas del mercado global, facilitando por tanto la transición entre las tecnologías a medio y largo plazo [14].

2.5.3. La función de Sudamérica en la adquisición de recursos para producir baterías comerciales destinadas a automóviles eléctricos.

América del Sur, junto a Bolivia, Chile y Argentina, tiene una importancia fundamental en la cadena de suministro global del litio, el cual es uno de los componentes esenciales de las baterías de ion de litio (Li-ion) (245). La región cuenta con las mayores reservas de litio a nivel internacional, lo que la lleva a adquirir un papel destacado en la fabricación de baterías para los



vehículos eléctricos. Sin embargo, la explotación de los recursos de litio debe hacerse de una manera responsable a fin de que su extracción no acabe teniendo efectos adversos para el medio ambiente y las comunidades locales, eso hace que el progreso de la industria de baterías pase unido por el avance tecnológico, pero por la gestión sostenible de estos recursos [30].

2.5.4. Situación y avances de las baterías para vehículos eléctricos en el contexto ecuatoriano

Ecuador ha comenzado la implementación de iniciativas nacionales como la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, que consideran tanto incentivos fiscales como la construcción de infraestructura de recarga. A pesar de los avances en materia de políticas públicas, Ecuador enfrenta enormes obstáculos para la adopción a escala comercial de baterías de VE. La ausencia de infraestructura de recarga, la dependencia de importaciones, los costes, son barreras significativas. Sin embargo, también existen oportunidades en la integración de energías renovables y la innovación local para resolver esos déficits. Ecuador podría captar enormes beneficios de una colaboración regional y global más activa en el desarrollo de baterías y tecnologías relacionadas [31][32].

2.6. Tecnologías emergentes de fabricación de baterías comerciales para vehículos eléctricos

La evolución de lo que constituye hoy las tecnologías emergentes que sustentan el nacimiento de las primeras baterías comerciales de vehículos eléctricos, que cambiarán la forma que tenemos de entender la movilidad eléctrica, es una necesidad imprescindible que proporciona la continuidad de este sector, que se producirá buscando precisamente el remedio para solventar la problemática de las baterías actuales. Las Li-ion, las cuales están obligadas a evolucionar y a ser readaptadas para ver cubiertas las exigencias que demanda el mercado (un mayor recorrido, sostenibilidad, un sistema seguro, etcétera).

Entre las diferentes tecnologías vigentes en la actualidad, las baterías de estado sólido son las que nos ofrecen una mayor densidad energética y una mejor seguridad, ya que carecen de electrolito líquido inflamable, pero se enfrentan a retos en lo apreciado que son sus crecimientos industriales y la viabilidad económica [33]. Por otro lado, las baterías recargables de magnesio son una alternativa sostenible a raíz de su bajo coste y la abundancia que tiene el magnesio, aunque se encuentran todavía en una primera fase de desarrollo, de modo que deben ser tratadas y puestas a prueba para superar las carencias asociadas a la duración de los electrolitos o a la eficiencia que proporcionan en los ciclos de descarga y carga [34]. Las baterías de metal-aire, que destacan por su elevada densidad energética, pretenden cambiar la forma que tenemos de apreciar el sector, puesto que pueden generar autonomías mucho más amplias en los vehículos eléctricos, pero su



durabilidad y estabilidad todavía son grandes limitaciones a las cuales se enfrentan, y que son más que visibles por todo lo que tiene que ver al deterioro que sufre el sistema por la exposición en condiciones de oxígeno y agua [35].

Tampoco se puede obviar el hecho de que las innovaciones asociadas a los materiales y al diseño estructural también están optimizando las baterías comerciales. Los nanomateriales, por ejemplo, nos permiten mejorar la conductividad eléctrica, térmica y la capacidad energética, y los diseños 3D de los electrodos nos permiten optimizar los sistemas de almacenamiento y la transferencia eléctrica y energética que estos ofrecen [36].

Las tecnologías emergentes pueden ayudar a conseguir una movilidad eléctrica futura en la que se necesita investigar y desarrollar soluciones energéticas óptimas, sostenibles y seguras.

A continuación, se ilustra un esquema de las tecnologías emergentes, poniendo de manifiesto las ventajas de dichas tecnologías, los retos que tienen que superar y el efecto que pueden tener en la industria de los vehículos eléctricos.

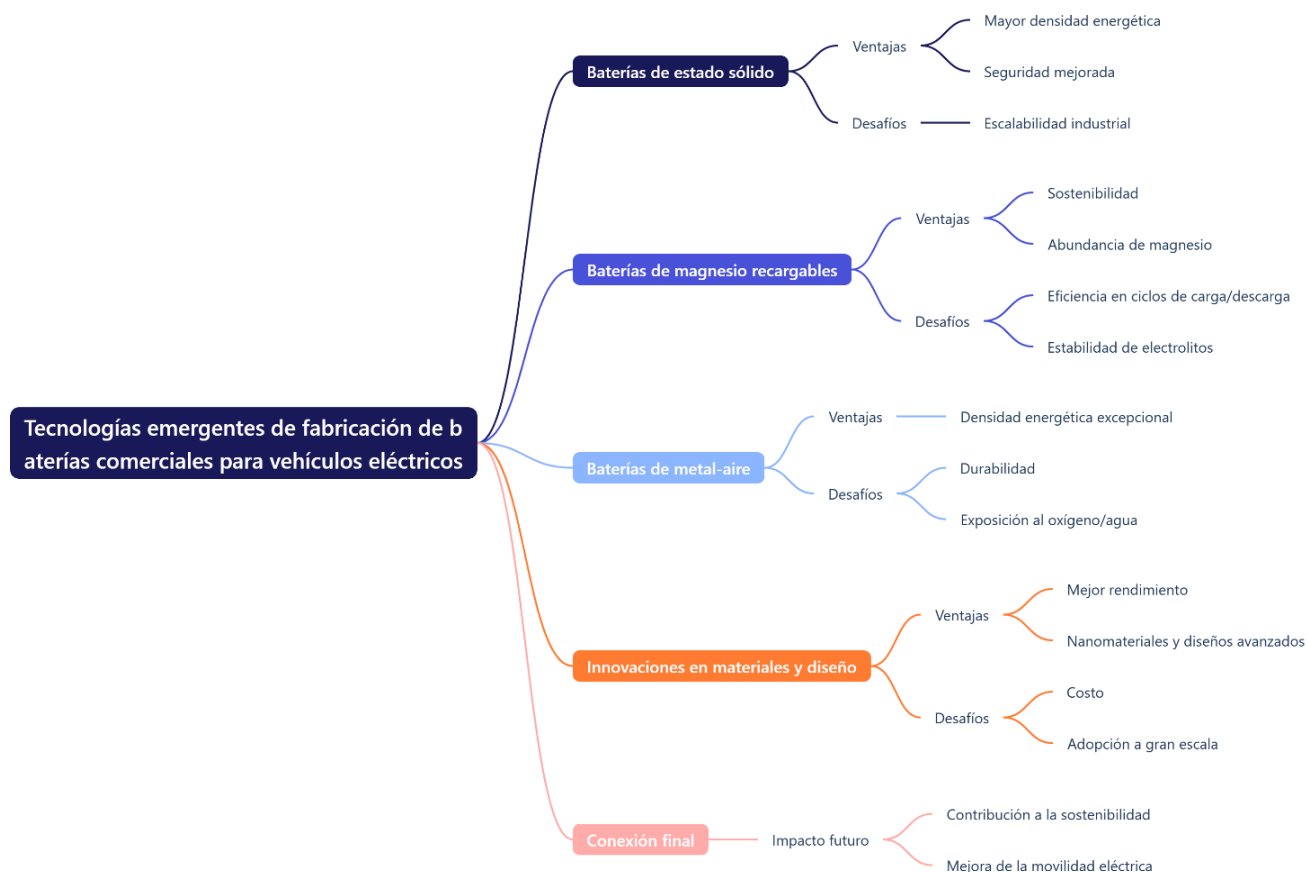


Ilustración 3: Tecnologías emergentes de fabricación de baterías para vehículos eléctricos

El diagrama de la ilustración 3 describe las principales tecnologías emergentes en baterías comerciales para vehículos eléctricos, así como sus propiedades,



limitaciones y capacidad para hacerse cargo de las limitaciones actuales en movilidad eléctrica futura.

En el diagrama se muestra que las baterías de estado sólido ofrecen niveles de seguridad e incluso densidad energética elevados, pero su viabilidad depende de la posibilidad de conseguir avances en los procesos de producción industrial. Las baterías de Magnesio se hallan todavía muy en la fase de desarrollo en la medida que el Mg ejerce gran abundancia y es un material de fácil y bajo coste. Las baterías de Al y aire, con una densidad energética muy elevada, permiten plantear músculos para la autonomía, aunque deben todavía mejorar en lo relacionado con la durabilidad y la estabilidad de cara a la producción en gran escala. Nuevos materiales como los nanomateriales, diseños tridimensionales incitan a la producción en la medida que fomentan la sostenibilidad, contribuyen a optimizar los procesos de fabricación. Las tecnologías emergentes de la batería están prometiendo en términos de movilidad eléctrica, así como la posibilidad de implementar una movilidad eléctrica a través de un modelo energético sostenible.

Por último, el camino dependerá de la industria para superar los retos técnicos y económicos, así como un esfuerzo constante para desarrollar investigación y desarrollo, el cual resulta esencial de cara a su implementación.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección presenta las técnicas y procedimientos metodológicos utilizados en la investigación de los tipos de baterías comerciales empleadas en los vehículos eléctricos. En esta etapa, el propósito fundamental es a partir de fuentes científicas indexadas, describir las tecnologías más representativas, sus características, aplicaciones y cómo han evolucionado en el mercado.

La metodología elegida se acopla a un diseño de investigación de tipo cuantitativo, documental, descriptivo y no experimental, centrado en el uso del análisis bibliométrico como técnica para investigar la producción científica asociada a las baterías comerciales. Este enfoque sistemático proporciona orden a la información recopilada permitiendo un tratamiento rigurosamente controlado de los datos sin manipulación directa de los objetos de estudio.



Ilustración 4: Flujograma del capítulo III

En la Ilustración 4 se presenta de forma esquemática la ruta metodológica que se empleó para el desarrollo del estudio. El flujo de los diagramas se ajusta a cada uno de los apartados del tercer capítulo de este documento, desde la revisión documental hasta el análisis



estadístico de los datos recopilados y su posterior estudio. La investigación se orienta, desde un enfoque cuantitativo, a la construcción de un paradigma bibliométrico, lo cual enmarca la producción científica dentro de una interpretación objetiva y acumulativa sin control de variables y solo a partir de datos secundarios. Dentro del diseño metodológico se encuentran los recursos y herramientas empleadas, tales como las bases de datos indexadas Scopus, Web of Science, SciELO y programas especializados VOSviewer y Excel. En los métodos y técnicas, así como en la matriz de operacionalización de variables, se exponen los indicadores pertinentes para determinar la frecuencia, importancia y progresión de cada tipo de batería comercializada. Este abordaje permite explicar de forma clara, precisa y fundamentada el estado y el progreso que se está dando hoy en día con respecto a tecnologías de baterías para automóviles eléctricos.

A continuación, se detallan el enfoque de la investigación, el diseño metodológico, los recursos empleados y el procedimiento de análisis de datos.

3.1. Enfoque y tipo de investigación

La investigación se aborda desde una perspectiva cuantitativa y se basa en técnicas bibliométricas aplicadas a la literatura científica indexada. Esta elección metodológica surge de los intentos de cumplir con el requisito de lograr una medición ordenada y objetiva sobre los diferentes tipos de baterías cubiertos en la literatura científica disponible, su crecimiento, usos y disciplinas estudiadas.

3.1.1. Enfoque cuantitativo y paradigma bibliométrico

La investigación se enmarca en el paradigma cuantitativo que permite estudiar un fenómeno de manera objetiva utilizando indicadores bibliométricos tales como frecuencia de publicaciones, coocurrencia de palabras clave, y número de citas.

El enfoque bibliométrico adopta un rasgo cuantitativo basado en la recopilación y análisis numérico de datos provenientes de artículos científicos, al ser estos derivados de fuentes documentales que han sido previamente indexadas.

El análisis bibliométrico es una técnica utilizada para explorar la búsqueda científica en un campo determinado[37]. Se realiza a partir de la recopilación de las publicaciones científicas, las cuales se consideran desde un enfoque cuantitativo utilizando indicadores como el número de citas, redes de coautoría y tendencias de palabras clave o resúmenes. Este método ayuda a identificar las tecnologías más importantes dentro del sector automotriz.



3.1.2. Tipo de investigación

La esencia de esta investigación es descriptiva, dado que se centra en la identificación y categorización de las diversas clases de baterías comerciales empleadas en automóviles eléctricos, mediante la revisión de publicaciones académicas. También se considera un estudio documental, ya que se fundamenta únicamente en fuentes secundarias, como artículos científicos, textos especializados y conferencias, que se encuentran en bases de datos indexadas.

El enfoque utilizado es no experimental, puesto que no se alteran variables en un entorno controlado, sino que se examina y se estudia la información tal como se presenta en los documentos seleccionados. Esta estrategia se alinea con los estudios bibliométricos, que facilitan la comprensión de la evolución del conocimiento científico sobre un tema a través del análisis sistemático de datos bibliográficos.

3.2. Diseño de la investigación, materiales, equipos y software

En esta sección se especifica el diseño metodológico utilizado para llevar a cabo el análisis bibliométrico, además de los recursos empleados para su realización. Se detallan los estándares de organización, estudio y representación de los datos científicos obtenidos, y se detallan los recursos, dispositivos y herramientas digitales requeridos para realizar el procesamiento y representación de los datos. El objetivo principal del diseño de la investigación es alcanzar el objetivo específico 2, que se enfoca en detallar las clases de baterías comerciales utilizadas en vehículos eléctricos, basándose en evidencia científica reciente y verificada.

3.2.1. Metodología para el estudio bibliométrico de tecnologías de baterías en el mercado.

El análisis bibliométrico, en este escenario, se enfoca en detallar la aparición, el desarrollo y la dispersión de los distintos tipos de baterías (como ion de litio, estado sólido, LFP, entre otros) en el conjunto de publicaciones académicas indexadas. Este diseño facilita la identificación de patrones de investigación, modalidades tecnológicas, y la importancia de cada clase de batería en el campo de la movilidad eléctrica, tal como se ha evidenciado en estudios científicos revisados por expertos.

3.2.2. Tabla de materiales, bases de datos y software utilizados

A continuación, se muestra la tabla que resume los recursos, bases de datos, equipos de computación y software empleados en la realización del estudio. Todos los componentes se escogieron según su importancia y beneficio para llevar a cabo un análisis bibliométrico meticuloso y organizado.

**Tabla 1:** *Materiales, equipos y software empleados en la investigación*

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos utilizados	Software empleado
No aplica (estudio documental)	Artículos científicos indexados en Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, SciELO, Latindex	Computadora personal con acceso a internet	• VOSviewer (análisis bibliométrico) • Microsoft Excel (procesamiento de datos) • Mendeley/Zotero (gestión de referencias)

3.3. Métodos, técnicas e instrumentos

Esta sección expone los procedimientos empleados para recolectar y examinar la información bibliográfica, además de los métodos empleados para organizar e interpretar los datos recabados. En un análisis bibliométrico como el que se presenta, el enfoque no radica en personas, sino en documentos científicos indexados en bases de datos prestigiosas. Por lo tanto, las metodologías utilizadas se concentran en la recolección sistemática de metadatos, la aplicación de criterios para incluir o excluir, así como el uso de herramientas digitales para representar gráficamente las relaciones entre publicaciones, autores, instituciones y tecnologías de batería.

3.3.1. Universo y población

El universo o área de estudio está constituido por todas las publicaciones científicas relacionadas con las baterías comerciales empleadas en vehículos eléctricos, que se encuentran en bases de datos académicas, abarcando el periodo de los últimos 20 años (2005-2024), conforme al marco temporal establecido en este proyecto de investigación. El conjunto específico incluye artículos, revisiones, actas de conferencias y capítulos de libros publicados durante dicho lapso, que proporcionen información relevante sobre los tipos de baterías, eficiencia, usos y tecnologías emergentes.

A diferencia de los estudios que involucran a individuos, en este caso, la unidad de análisis es el texto científico. Cada publicación representa un conjunto central de datos cruciales que puede ser analizado desde diversas perspectivas: frecuencia de



aparición, citas recibidas, palabras clave utilizadas y conexiones con otras investigaciones.

A diferencia con los estudios con individuos humanos, en esta situación la unidad de análisis es el texto científico. Cada publicación simboliza un núcleo de datos esenciales que puede ser examinado desde diferentes puntos de vista: frecuencia de aparición, citas recibidas, términos clave empleados y conexiones con otras investigaciones.

3.3.2. Criterios de selección y tamaño muestral

Para asegurar la pertinencia y calidad de los datos bibliográficos utilizados, se establecieron rigurosos criterios de inclusión y exclusión:

- Publicaciones realizadas durante los últimos 20 años (2005-2024).
- Ediciones en español o inglés.
- Documentos catalogados en Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, SciELO o Latindex.
- Investigaciones que tengan relación con las clases de baterías comerciales, su uso en vehículos eléctricos y su rendimiento tecnológico.

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios de exclusión:

- Textos duplicados entre fundamentos.
- Publicaciones que no han sido revisadas por pares.
- Artículos que aborden el tema de baterías experimentales sin una clara utilización comercial.
- Literatura gris (abstractos de congresos, blogs, entre otros).

El tamaño del muestreo se determinará por el número de publicaciones que satisfagan estos filtros después de implementar la estrategia de búsqueda. No se utiliza la fórmula estadística, se evita la utilización de métodos estadísticos convencionales, ya que la muestra no es probabilística, sino intencionada por conveniencia, fundamentada en la importancia temática y científica de los documentos.

3.3.3. Técnicas de recolección

En este apartado se describe las técnicas de recopilación-filtrado que se ha realizado sobre el estudio bibliométrico. Teniendo en cuenta que se estudian baterías comerciales para vehículos eléctricos, se seleccionaron bases de datos científicas de orden nacional e internacional de acuerdo con las mencionadas en el alcance del



proyecto, las fuentes consultadas fueron Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, SciELO y Latindex.

Proceso de búsqueda y filtrado:

Previo a la búsqueda, se organizó un conjunto de comandos que facilitaban la recuperación automática de documentos científicos pertinentes. Para este caso específico, se aplicaron los siguientes filtros:

- Años de publicación (2005-2024)
- Términos claves asociados a baterías comerciales para vehículos eléctricos
- Documentos científicos, revisiones, reportes.

A continuación, se describen los comandos de búsqueda aplicados en cada base de datos científica, junto con los filtros utilizados y los resultados obtenidos tras el proceso de búsqueda, refinamiento y selección de la información. Para la recolección de los datos, se implementó la técnica de minería de datos bibliográficos, que implica la búsqueda, selección, descarga y organización de los metadatos de publicaciones científicas que son relevantes para este análisis. Para garantizar la precisión y relevancia de los resultados, se fusionaron términos clave utilizando operadores booleanos (AND, OR, NOT) en los motores de búsqueda de cada plataforma. Los comandos se enfocaron en cuestiones relacionadas con baterías comerciales para automóviles eléctricos, abarcando aspectos como tipos de baterías, eficacia, densidad de energía, duración, seguridad y tendencias tecnológicas emergentes.

Este método asegura que los resultados de cada base de datos sean coherentes, actualizados y que recojan la información más pertinente para el estudio. Además, usar diversas bases científicas ayuda a obtener una visión completa sobre cómo han evolucionado las baterías para vehículos eléctricos a lo largo del tiempo.

En seguida, se presentan los resultados obtenidos del proceso de búsqueda en cuatro bases de datos científicas reconocidas, tanto a nivel internacional como regional. En cada una, El análisis bibliométrico, en este escenario, se enfoca en detallar la aparición, el desarrollo y la dispersión de los distintos tipos de baterías (como ion de litio, estado sólido, LFP, entre otros) en el conjunto de publicaciones académicas indexadas. Este diseño facilita la identificación de patrones de investigación, modalidades tecnológicas, y la importancia de cada clase de batería en el campo de la movilidad eléctrica, tal como se ha evidenciado en estudios científicos revisados por expertos., estos comandos cubren tanto los diferentes tipos de baterías como sus principales características técnicas y cómo se usan en aplicaciones comerciales, todo en cumplimiento con el objetivo correspondiente a describir los tipos de baterías comerciales que se emplean en vehículos eléctricos. Se aplicó de manera similar un filtro de tiempo que va desde 2005 hasta 2024, según lo establecido en el alcance de este trabajo de grado. Las tablas muestran, para cada comando:



- El número de resultados iniciales.
- El filtro de tiempo aplicado.
- La cantidad de resultados filtrados, que son los documentos que cumplen con ese criterio temporal.

En el caso de la base de datos Scopus, como se muestra posteriormente en la **Tabla 2**, se realizaron búsquedas usando comandos en el campo TITLE-ABS-KEY. Este sector facilita la búsqueda de palabras clave en los títulos, resúmenes y en las palabras clave de los artículos. Se utilizaron términos concretos, tales como “batería de Li-ion”, “batería de vehículo eléctrico”, “seguridad de baterías”, “densidad energética de baterías”, entre otros. Los primeros resultados fueron bastante extensos, dado el amplio espectro de temas abarcados por Scopus. Al implementar un filtro por intervalo de fechas, concretamente entre 2005 y 2024, la cantidad de resultados disminuyó notablemente. Esto ayudó a enfocarse solo en los documentos relevantes para el período de análisis de este trabajo de titulación.

Tabla 2: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos Scopus

Base de datos	Comando usado	Resultados iniciales	Filtro general	Resultados filtrados
Scopus	Li-ion battery	50.570	2005-2024	46.676
	Commercial battery	27.038	2005-2024	23.490
	Electric vehicle battery	81.226	2005-2024	72,908
	Lithium iron phosphate battery	4.652	2005-2024	4.147
	Solid-state battery	30.564	2005-2024	26.032
	Nickel metal hydride battery	2.784	2005-2024	1.862
	Sodium-ion battery	20.472	2005-2024	17.791
	Hybrid battery	58.855	2005-2024	53,582
	Battery efficiency	94.233	2005-2024	82.350
	Battery lifespan	8.973	2005-2024	7.419
	Battery safety	40.981	2005-2024	34.850
	Energy density battery	68.427	2005-2024	59.532



	Lithium-sulfur battery	14.328	2005-2024	12.942
	Aluminum-air battery	658	2005-2024	510
	Battery thermal management	12.148	2005-2024	10.613
	Battery fast charging	12.404	2005-2024	11.164
	Battery recycling electric vehicles	2.241	2005-2024	1.890
	Battery cost electric vehicles	19.957	2005-2024	18.015
	Battery degradation electric vehicles	4.175	2005-2024	3.706
	Lithium-ion batteries	140.911	2005-2024	127.993

En la **Tabla 3** se muestran los resultados obtenidos en Web of Science. Los comandos se realizaron usando el operador TS (Topic Search), lo que permite buscar en títulos, resúmenes y palabras clave. Aunque al principio los resultados fueron bastante altos para algunos comandos, al aplicar el filtro de fechas 2005–2024, la cantidad de documentos relevantes disminuyó. Esto se debe en parte a que esta base de datos es muy específica en los temas que indexa y tiene criterios estrictos de selección.

Tabla 3: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos Web of Science

Base de datos	Comando usado	Resultados iniciales	Filtro general	Resultados filtrados
Web of Science	Li-ion battery	51.322	2005-2024	48.791
	Commercial battery	22.122	2005-2024	20.517
	Electric vehicle battery	42.724	2005-2024	39.967



	Lithium iron phosphate battery	4.210	2005-2024	3.849
	Solid-state battery	27.012	2005-2024	24.767
	Nickel metal hydride battery	1.344	2005-2024	1.211
	Sodium-ion battery	19.188	2005-2024	17.580
	Hybrid battery	48.852	2005-2024	
	Battery efficiency	68.342	2005-2024	62.890
	Battery lifespan	7.318	2005-2024	6.326
	Battery safety	31.396	2005-2024	28.241
	Energy density battery	67.115	2005-2024	61.922
	Lithium-sulfur battery	13.618	2005-2024	12.848
	Aluminum-air battery	495	2005-2024	466
	Battery thermal management	8.726	2005-2024	7.892
	Battery fast charging	14.143	2005-2024	13.142
	Battery recycling electric vehicles	8.458	2005-2024	7.491
	Battery cost electric vehicles	10.939	2005-2024	10.166
	Battery degradation electric vehicles	3.655	2005-2024	3.340
	Lithium-ion batteries	117.734	2005-2024	110.503

Como se puede ver en la **Tabla 4**, las búsquedas en la base de datos SciELO se hicieron usando comandos en el campo Keyword. Esta base, que tiene una fuerte



presencia en la región latinoamericana, arrojó pocos resultados por cada comando, alcanzando un máximo de 59 documentos en algunos casos. Sin embargo, la mayoría de los registros filtrados para el período 2005–2024 son relevantes, especialmente en temas como “eficiencia de baterías” y “baterías de litio”. Aunque el número de documentos no es tan grande comparado con bases de datos internacionales, su valor está en ofrecer una visión regional que complementa el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de energía, especialmente en el contexto iberoamericano.

Tabla 4: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos SciELO

Base de datos	Comando usado	Resultados iniciales	Filtro general	Resultados filtrados
SciELO	Li-ion battery	7	2005-2024	6
	Commercial battery	17	2005-2024	16
	Electric vehicle battery	30	2005-2024	30
	Lithium battery	50	2005-2024	42
	Solid-state battery	3	2005-2024	3
	Nickel metal hydride battery	2	2005-2024	2
	Sodium battery	9	2005-2024	9
	Hybrid battery	28	2005-2024	27
	Battery efficiency	64	2005-2024	59
	Battery lifetime	16	2005-2024	16
	Battery safety	32	2005-2024	28
	Energy density battery	14	2005-2024	11
	Lithium-sulfur battery	1	2005-2024	1
	Aluminum-air battery		2005-2024	
	Battery thermal management	4	2005-2024	2



	Battery fast charging	1	2005-2024	1
	Battery recycling electric vehicles	1	2005-2024	1
	Battery cost electric vehicles	4	2005-2024	3
	Battery degradation	10	2005-2024	8
	Lithium-ion batteries	20	2005-2024	18

Aunque se consideró a Latindex como una fuente útil para esta investigación, principalmente porque es una base de datos regional importante que se enfoca en publicaciones académicas de Iberoamérica, su estructura tiene algunas limitaciones. No permite llevar a cabo búsquedas exhaustivas por artículos específicos o palabras clave concretas. Al intentar encontrar términos relacionados con baterías comerciales, eficiencia energética o movilidad eléctrica, tanto en inglés como en español, no se encontraron resultados que fueran pertinentes o que describieran adecuadamente el tema. Esto ocurre porque Latindex indexa revistas en su totalidad y no artículos individuales, y su sistema de búsqueda carece de filtros precisos por tópico. Por estos motivos, se tomó la decisión de que Latindex no se incluiría en el análisis bibliométrico cuantitativo.

No obstante, para mitigar esta restricción y obtener una visión más clara de la producción científica en la región, se recurrió además a búsquedas en SciELO, una base de datos iberoamericana que sí permite la consulta de artículos a través de palabras clave, áreas temáticas y otros filtros avanzados. Esto proporcionó resultados relevantes y significativos para el análisis bibliométrico.

La base de datos IEEE Xplore, que se presenta en la **Tabla 5**, es una fuente altamente técnica que se centra en publicaciones relacionadas con ingeniería, electrónica y sistemas energéticos. Se llevaron a cabo búsquedas desde conceptos generales como “batería de vehículo eléctrico” y “batería de litio”, hasta temas más concretos como “eficiencia de batería” y “densidad energética de batería”. Los resultados preliminares reflejaron de manera evidente la especialización de la base, y al aplicar el filtro de 2005 a 2024, se restringieron a los documentos más recientes y relevantes. Esta base proporcionó información clave sobre tecnologías emergentes, eficiencia energética, seguridad y diseño técnico de baterías, siendo fundamental para el análisis técnico del estudio.



Tabla 5: Resultados Obtenidos con el filtro general de la base de datos IEEE Xplore

Base de datos	Comando usado	Resultados iniciales	Filtro general	Resultados filtrados
IEEE Xplore	Li-ion battery	4.263	2005-2024	4.001
	Commercial battery	5.787	2005-2024	5.005
	Electric vehicle battery	39.886	2005-2024	36.801
	Lithium iron phosphate battery	952	2005-2024	920
	Solid-state battery	2.837	2005-2024	2.045
	Nickel metal hydride battery	291	2005-2024	156
	Sodium-ion battery	98	2005-2024	82
	Hybrid battery	22.639	2005-2024	21.090
	Battery efficiency	33.318	2005-2024	30.066
	Battery lifespan	1.656	2005-2024	1.456
	Battery safety	8.236	2005-2024	7.089
	Energy density battery	10.902	2005-2024	9.528
	Lithium-sulfur battery	183	2005-2024	152
	Aluminum-air battery	24	2005-2024	14
	Battery thermal management	4.351	2005-2024	3.859
	Battery fast charging	6.175	2005-2024	5.661
	Battery recycling electric vehicles	394	2005-2024	346
	Battery cost electric vehicles	10.925	2005-2024	10.005
	Battery degradation electric vehicles	2.458	2005-2024	2.237



	Lithium-ion batteries	9.806	2005-2024	9.089

Después de presentar las tablas individuales para cada base de datos científica, donde se aplicó un filtro general para el período de estudio (2005–2024), en esta etapa de proceso de búsqueda y filtrado se implementó una estrategia adicional para mejorar la búsqueda y filtrado de información científica relevante: la combinación de comandos temáticos. Esta técnica consiste en agrupar términos relacionados en una sola consulta, lo que ayudó a reducir la cantidad de resultados sin perder precisión temática.

Esta táctica resultó beneficiosa para adherirse a las restricciones de exportación de datos que establecen ciertas plataformas, como Scopus y Web of Science, con un límite de 5.000 documentos, o IEEE Xplore que permite 1.000 documentos por descarga. También se siguió aplicando criterios específicos para cada plataforma, que comprenden:

- Área o categoría científica (como Energía, Ingeniería, Química o Ciencia de Materiales)
- Tipo de documento (artículos, tesis)
- Idioma de publicación (inglés, español)
- Disponibilidad de acceso abierto
- Palabras clave o tópicos específicos según cada base de datos.

Esta fase de búsqueda avanzada tiene como finalidad mejorar aún más la relevancia y calidad de los documentos elegidos, garantizando que no solo se ajusten al período definido, sino también a los criterios técnicos, metodológicos y temáticos que se alinean con el propósito específico de esta investigación: detallar los diferentes tipos de baterías comerciales empleadas en automóviles eléctricos.

En la base de datos Scopus, se realizó una búsqueda avanzada para refinar y mejorar los resultados obtenidos. Con el uso de comandos temáticos combinados predefinidos, se aplicaron diversos filtros específicos propios de la plataforma, con el fin de ajustar los resultados a los criterios metodológicos de esta investigación. En seguida se enlistan los comandos combinados utilizados:

1. Li-ion battery AND energy density

El proceso se llevó a cabo considerando los siguientes filtros:

- **Rango temporal:** Se delimitó la búsqueda a publicaciones desde 2005 hasta 2024, en línea con el periodo establecido en el alcance del estudio.
- Área temática o “Subject area”: Solo se seleccionaron publicaciones relacionadas con campos relevantes para la investigación, entre las que destacan:



- *Materials Science* (850 resultados)
- *Chemistry* (744 resultados)
- *Energy* (684 resultados)
- *Engineering* (419 resultados)
- *Chemical Engineering* (329 resultados)
- **Tipo de documento:** Para asegurar la calidad y el rigor académico, solo se filtraron artículos científicos (“Article”), alcanzando un total de 1,386 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se usaron etiquetas específicas en Scopus que agrupan los artículos por términos estandarizados, destacando principalmente:
 - *Lithium-ion batteries* (1,237 documentos)
 - *Lithium compounds* (647 resultados)
 - *Lithium* (335 resultados)
 - *Solid electrolytes* (296 resultados)
- **Idioma:** La búsqueda se limitó a publicaciones en inglés para garantizar el acceso a literatura científica de mayor impacto y cobertura internacional. (8.797 resultados)
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se activó el filtro para incluir solo publicaciones con acceso abierto, asegurando la disponibilidad y transparencia del contenido. (1.386 resultados)
- **Total, final exportable:** Gracias a estos filtros, se logró reducir significativamente el conjunto de publicaciones, enfocándose en aquellas que ofrecen relevancia técnica, actualidad y pertinencia temática. En total, se recuperaron 1,386 artículos científicos que están listos para ser exportados y analizados, cumpliendo con los objetivos tanto en cantidad como en calidad.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

A continuación, se detallan los filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se delimitó la búsqueda a publicaciones comprendidas entre 2005 y 2024, en concordancia con el alcance temporal de la presente investigación.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron únicamente publicaciones que pertenezcan a disciplinas directamente relacionadas con la tecnología de baterías, sus aplicaciones y análisis de degradación. Las principales áreas temáticas consideradas fueron:
 - *Energy* (1.267 resultados)
 - *Engineering* (1.043 resultados)
 - *Chemistry* (987 resultados)
 - *Materials Science* (848 resultados)
- **Tipo de documento:** Para asegurar el rigor científico de los resultados, se aplicó un filtro para seleccionar únicamente artículos científicos (Article), obteniendo un total de 2.012 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se utilizaron etiquetas normalizadas dentro de Scopus, relacionadas directamente con el comando de búsqueda y sus subtemas. Las principales palabras clave fueron:



- *Lithium-ion Batteries* (1.910 documentos)
- *Lithium Compounds* (700 resultados)
- *Degradation* (584 resultados)
- *Battery Management Systems* (432 resultados)
- **Idioma:** Se limitó la búsqueda a publicaciones en inglés, con el objetivo de asegurar el acceso a literatura académica internacional y de alto impacto. Este filtro arrojó un total de 2.012 resultados.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se activó el filtro para incluir únicamente documentos con acceso abierto, garantizando la disponibilidad de los textos completos y la transparencia en el análisis. (2.012 resultados)
- **Total, final exportable:** Luego de aplicar todos los filtros mencionados, el conjunto de documentos se depuró significativamente, resultando en un total de 2.012 artículos científicos listos para su exportación y análisis.

3. Li-ion battery AND safety

A continuación, se describen los filtros utilizados:

- **Rango temporal:** La búsqueda se restringió al período comprendido entre 2007 y 2024, en correspondencia con la evolución reciente de las tecnologías de baterías comerciales y en cumplimiento con el alcance definido en este trabajo.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron publicaciones asociadas a áreas científicas clave para el estudio de la seguridad en baterías. Las disciplinas consideradas fueron:
 - *Energy* (427 resultados)
 - *Chemistry* (369 resultados)
 - *Engineering* (344 resultados)
 - *Materials Science* (296 resultados)
- **Tipo de documento:** Para garantizar la calidad y validez académica del corpus, se filtraron exclusivamente artículos científicos (Article), obteniendo un total de 715 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se aplicaron etiquetas específicas dentro de la base de datos, relacionadas con los componentes, materiales y aspectos de seguridad en baterías de ion de litio. Entre los términos destacados figuran:
 - *Lithium-ion Batteries* (659 documentos)
 - *Lithium Compounds* (261 resultados)
 - *Lithium* (135 resultados)
 - *Battery Management Systems* (123 resultados)
- **Idioma:** Se aplicó el filtro para limitar la búsqueda a documentos publicados en inglés, lo que resultó en un total de 715 publicaciones, asegurando el acceso a literatura científica de mayor impacto.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se activó el filtro para considerar únicamente publicaciones de acceso abierto, permitiendo así la disponibilidad y transparencia total del contenido analizado.



- **Total, final exportable:** Como resultado del proceso de filtrado, se obtuvieron 715 artículos científicos directamente relacionados con la seguridad en baterías de ion de litio

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Para este comando, se detallan dichos filtros:

- **Rango temporal:** La búsqueda se limitó al período 2005–2024, conforme al alcance temporal establecido para este trabajo de investigación, lo cual permite capturar tanto el uso consolidado de esta tecnología como su progresiva sustitución en la última década.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron documentos relacionados con disciplinas técnicas directamente vinculadas a los vehículos eléctricos y las baterías recargables. Las principales áreas consideradas fueron:
 - o *Engineering* (120 resultados)
 - o *Energy* (72 resultados)
 - o *Chemistry* (47 resultados)
 - o *Materials Science* (33 resultados)
- **Tipo de documento:** Se filtraron exclusivamente artículos científicos (Article), obteniendo un total de 178 publicaciones que cumplen con los criterios de rigor académico y validación por pares.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se emplearon etiquetas estandarizadas dentro de Scopus que identifican artículos según sus temas principales. Los términos destacados en esta búsqueda fueron:
 - o *Nickel Metal Hydride Batteries* (85 documentos)
 - o *Hydrides* (81 resultados)
 - o *Electric Vehicles* (56 resultados)
 - o *Secondary Batteries* (52 resultados)
 - o Como referencia adicional, se identificaron también artículos relacionados con *Lithium-ion Batteries* (48 resultados), lo cual permite establecer comparaciones o transiciones tecnológicas.
- **Lenguaje:** Se estableció el filtro de idioma, eligiendo solamente publicaciones en inglés, lo que dio como resultado 178 documentos, y se eliminó el único documento que estaba en rumano.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se aplicó el filtro de acceso sin costo, lo que facilitó la identificación de 58 publicaciones accesibles en su totalidad para un análisis directo y claro.
- **Total, final exportable:** Como resultado de la aplicación conjunta de estos filtros, se generó un grupo de 178 artículos científicos enfocados en el uso de baterías NiMH en automóviles eléctricos.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

Para este comando los criterios aplicados fueron:

- **Rango temporal:** Se acotó la búsqueda a publicaciones comprendidas entre 2012 y 2024, ya que en ese período se observa un incremento considerable en el desarrollo e implementación de baterías LFP en aplicaciones automotrices.



- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron documentos pertenecientes a disciplinas científicas estrechamente relacionadas con los sistemas de almacenamiento energético, la eficiencia en dispositivos eléctricos y el diseño de materiales electroquímicos. Las áreas consideradas incluyeron:
 - *Energy* (35 resultados)
 - *Engineering* (31 resultados)
 - *Chemistry* (23 resultados)
 - *Materials Science* (17 resultados)
 - También se identificaron aportes desde *Chemical Engineering*, *Environmental Science* (con 9 resultados cada una).
- **Tipo de documento:** Para garantizar la calidad y validez académica de las fuentes, se filtraron exclusivamente artículos científicos (Article), lo que dio como resultado un total de 62 publicaciones seleccionadas.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se emplearon etiquetas específicas para acotar la búsqueda a los componentes y propiedades más relevantes de las baterías LFP. Las más destacadas fueron:
 - *Lithium-ion Batteries* (48 documentos)
 - *Lithium Compounds* (46 resultados)
 - *Iron Compounds* (44 resultados)
 - *Lithium Iron Phosphates* (19 resultados)
 - Otras etiquetas complementarias incluyeron: *Lithium* (16), *Ions* (14), y *Anodes* (10).
- **Idioma:** Se limitó la búsqueda a documentos en inglés, lo que garantizó el acceso a literatura de impacto internacional. Este filtro resultó en un total de 62 entradas relevantes.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se habilitó el filtro de acceso libre, permitiendo que el contenido estuviera completamente disponible para su examen, sin restricciones de suscripción.
- **Total, final exportable:** Luego de implementar todos los filtros avanzados, se logró un conjunto de 62 trabajos científicos, que constituyen un corpus muy pertinente y específico para describir el rendimiento técnico y la efectividad de las baterías LiFePO_4 (LFP).

6. Solid-state battery AND commercialization

A fin de afinar la búsqueda y asegurar la pertinencia de los documentos recuperados, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** La búsqueda se enfocó en el período comprendido entre 2005 y 2024, lo cual permite cubrir desde los primeros desarrollos experimentales de baterías de estado sólido hasta los estudios más recientes sobre su viabilidad comercial.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron las áreas del conocimiento más directamente relacionadas con la fabricación, aplicación y evolución de esta tecnología. Entre las más destacadas:
 - *Materials Science* (59 resultados)
 - *Energy* (46 resultados)
 - *Chemistry* (42 resultados)
 - *Engineering* (33 resultados)



- *Chemical Engineering* (21 resultados)
- **Tipo de documento:** Se filtraron exclusivamente artículos científicos (Article), garantizando el rigor académico y la revisión por pares. Esta categoría arrojó un total de 89 documentos.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Para delimitar el foco temático hacia baterías de estado sólido y sus componentes, se aplicaron términos estandarizados utilizados por la propia base de datos. Entre los más relevantes se incluyen:
 - *Solid Electrolytes* (71 documentos)
 - *Solid-state Batteries* (67 documentos)
 - *Lithium Compounds* (44 documentos)
 - *Lithium-ion Batteries* (38 documentos)
 - Otros términos complementarios: *Solid State Devices* (34), *Lithium Batteries* (29) y *Cathodes* (21).
- **Idioma:** Se restringió la búsqueda a publicaciones en inglés, que es el idioma predominante en literatura científica de alto impacto. Esto permitió recuperar 89 documentos disponibles para el análisis.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se implementó el filtro de acceso libre, asegurando que todos los documentos considerados en el análisis sean accesibles sin restricciones y estén disponibles para una revisión exhaustiva. El número total de publicaciones bajo esta categoría fue igualmente de 89.
- **Total, final exportable:** A consecuencia de este proceso de filtrado por temática y técnica, se logró obtener una colección de 89 artículos de investigación que se encuentran totalmente alineados con el estudio de las baterías de estado sólido durante su etapa de transición hacia el mercado.

7. Sodium-ion battery AND performance

En este comando se aplicaron diversos filtros temáticos y técnicos detallados a continuación:

- **Rango temporal:** La búsqueda fue delimitada al período comprendido entre 2012 y 2024, en concordancia con el momento en que las investigaciones sobre baterías de sodio comenzaron a ganar notoriedad en el ámbito científico y tecnológico.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron áreas del conocimiento directamente relacionadas con el estudio de baterías avanzadas, materiales activos y rendimiento electroquímico:
 - *Materials Science* (882 resultados)
 - *Chemistry* (741 resultados)
 - *Energy* (593 resultados)
 - *Engineering* (427 resultados)
 - *Chemical Engineering* (388 resultados)
- **Tipo de documento:** Se aplicó un filtro para incluir únicamente artículos científicos (Article), con lo cual se seleccionaron 1.411 publicaciones revisadas por pares.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se utilizaron etiquetas normalizadas para delimitar los artículos al estudio específico del rendimiento de las baterías Na-ion. Las principales palabras clave fueron:



- *Sodium-ion Batteries* (1.185 documentos)
- *Metal Ions* (1.122 resultados)
- *Sodium Ion Batteries* (632 documentos)
- *Anodes* (595 resultados)
- *Electrochemical Performance* (383 resultados)
- Otros términos relevantes fueron: *Sodium Compounds* (415) y *Cathodes* (388).
- **Idioma:** Se seleccionó exclusivamente literatura publicada en inglés, lo que arrojó un total de 1.411 artículos, excluyendo un único documento en coreano.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se activó el filtro para incluir únicamente documentos de acceso abierto, permitiendo una consulta libre y completa del contenido científico. Todos los artículos filtrados (1.411) cumplen con esta condición.
- **Total, final exportable:** Luego de aplicar todos los filtros, se obtuvo un conjunto de 1.411 artículos científicos completamente alineados con el análisis del desempeño de las baterías de sodio-ion.

8. Hybrid battery AND lifetime

La búsqueda de este comando fue refinada mediante la aplicación de filtros temáticos y técnicos, cuyo detalle se describe a continuación:

- **Rango temporal:** La búsqueda fue restringida al periodo comprendido entre 2008 y 2024, periodo en el cual las baterías híbridas han experimentado avances importantes en materia de eficiencia, ciclo de vida y aplicaciones en movilidad eléctrica.
- **Área temática o “Subject area”:** Se incluyeron publicaciones correspondientes a campos científicos relacionados directamente con la ingeniería de baterías, el modelado de su comportamiento y el análisis energético. Las principales disciplinas fueron:
 - *Engineering* (226 resultados)
 - *Energy* (186 resultados)
 - *Mathematics* (83 resultados)
 - *Computer Science* (78 resultados)
 - *Materials Science* (49 resultados)
- **Tipo de documento:** Se aplicó un filtro para seleccionar únicamente artículos científicos (Article), obteniendo un total de 311 publicaciones validadas por revisión por pares.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Para asegurar que los documentos estuvieran centrados en los aspectos clave de las baterías híbridas y su vida útil, se seleccionaron etiquetas específicas dentro de la base de datos. Las más relevantes fueron:
 - *Secondary Batteries* (105 documentos)
 - *Lithium-ion Batteries* (85 resultados)
 - *Electric Batteries* (78 resultados)
 - *Energy Efficiency* (77 documentos)
 - *Energy Storage* (77 resultados)
 - *Charging (batteries)* (74 resultados)



- *Battery Management Systems* (70 resultados)
- **Idioma:** Se limitó la búsqueda a documentos publicados en inglés, obteniendo así 311 artículos. Solo se identificó una publicación adicional en francés, que fue descartada para mantener la coherencia idiomática del corpus.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se configuró el filtro para seleccionar solo publicaciones de acceso libre, garantizando que todo el material recuperado sea totalmente accesible para el análisis documental y bibliométrico. Los 311 artículos elegidos cumplen con este requisito.
- **Total, final exportable:** Tras aplicar todos los filtros detallados, se logró obtener un conjunto específico de 311 artículos científicos que tratan sobre la duración de las baterías híbridas

9. Battery efficiency AND charging

La estrategia de búsqueda fue optimizada mediante filtros específicos que permitieron focalizar la información más pertinente para el estudio. A continuación, se describen estos filtros:

- **Rango temporal:** La búsqueda fue delimitada al período 2005–2024, en concordancia con el intervalo definido en el alcance metodológico del presente estudio.
- **Área temática o “Subject area”:** Las publicaciones se limitaron a áreas directamente vinculadas al análisis de baterías, eficiencia energética, sistemas de carga y modelado matemático. Las áreas más destacadas fueron:
 - *Engineering* (1.451 resultados)
 - *Energy* (1.014 resultados)
 - *Computer Science* (447 resultados)
 - *Materials Science* (388 resultados)
 - *Chemistry* (246 resultados)
- **Tipo de documento:** Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos (Article), lo que garantizó la calidad y revisión por pares de los documentos seleccionados. Se obtuvieron un total de 1.945 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se utilizaron etiquetas temáticas normalizadas dentro de Scopus para acotar los resultados a conceptos clave vinculados con la eficiencia energética de las baterías y sus mecanismos de carga. Entre las principales etiquetas utilizadas se encuentran:
 - *Charging (batteries)* (1.544 documentos)
 - *Secondary Batteries* (758 resultados)
 - *Electric Vehicles* (576 resultados)
 - *Energy Efficiency* (499 resultados)
 - *Battery Management Systems* (487 resultados)
 - Otros términos frecuentes: *Lithium-ion Batteries* (332) y *Electric Vehicle* (285)
- **Idioma:** La búsqueda se filtró exclusivamente a publicaciones en inglés, eliminando resultados en ucraniano, francés y japonés. El total resultante fue de 1.945 artículos científicos.



- **Acceso abierto (“Open access”)**: Se aplicó el filtro de acceso abierto, lo que permitió seleccionar únicamente documentos de libre acceso, favoreciendo la transparencia, trazabilidad y disponibilidad del contenido científico.
- **Total, final exportable**: Tras la aplicación de todos los filtros avanzados, se obtuvo un corpus final de 1.945 artículos científicos que abordan la eficiencia de las baterías en relación con su proceso de carga.

10. Battery lifespan AND Li-ion

Para afinar la búsqueda y garantizar la pertinencia y calidad de los resultados, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal**: Se delimitó la búsqueda al periodo comprendido entre 2011 y 2024, una etapa donde se ha intensificado la investigación sobre la durabilidad y envejecimiento de las baterías Li-ion en aplicaciones de movilidad.
- **Área temática o “Subject area”**: Se seleccionaron disciplinas científicas directamente relacionadas con la ingeniería de baterías, su composición química y su comportamiento a lo largo del tiempo. Las áreas más relevantes fueron:
 - o *Engineering* (57 resultados)
 - o *Energy* (54 resultados)
 - o *Chemistry* (38 resultados)
 - o *Materials Science* (38 resultados)
- **Tipo de documento**: Se filtraron exclusivamente artículos científicos (Article), asegurando así su validez académica y su revisión por pares. El total de documentos recuperados bajo este criterio fue de 102 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”)**: Para acotar los temas al estudio de la degradación y vida útil de las baterías Li-ion, se utilizaron las siguientes etiquetas temáticas:
 - o *Lithium-ion Batteries* (98 documentos)
 - o *Ions* (54 resultados)
 - o *Lithium Compounds* (32 resultados)
 - o *Battery Management Systems* (31 documentos)
 - o *Anodes* (24 resultados)
 - o También se identificaron artículos con las etiquetas *Charging (batteries)* (26) y *Lithium* (20)
- **Idioma**: Se filtraron únicamente publicaciones en inglés, resultando en un total de 102 artículos científicos relevantes.
- **Acceso abierto (“Open access”)**: Se aplicó el filtro para seleccionar solo documentos disponibles en acceso abierto, lo cual permite una consulta libre y directa de los textos completos.
- **Total, final exportable**: Como resultado del proceso de búsqueda y filtrado, se identificaron 102 artículos científicos altamente relevantes que abordan la vida útil de las baterías de ion de litio, desde aspectos de degradación de materiales hasta estrategias de gestión térmica y optimización de ciclos de carga

11. Battery thermal management AND vehicle

Se aplicaron los siguientes filtros avanzados para obtener un conjunto de publicaciones específicas y relevantes:



- **Rango temporal:** La búsqueda abarcó el periodo 2005–2024, conforme al intervalo definido en el alcance de la investigación, permitiendo captar tanto estudios pioneros como desarrollos tecnológicos actuales en sistemas de gestión térmica.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron publicaciones en áreas de conocimiento estrechamente vinculadas con la ingeniería térmica, electrónica de potencia y movilidad eléctrica:
 - *Engineering* (459 resultados)
 - *Energy* (380 resultados)
 - *Chemical Engineering* (93 resultados)
 - *Computer Science* (63 resultados)
 - También se identificaron artículos en *Chemistry* (92) y *Materials Science* (53)
- **Tipo de documento:** Se filtraron únicamente artículos científicos (Article), asegurando rigor académico y revisión por pares. Se obtuvo un total de 596 artículos bajo este criterio.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se aplicaron etiquetas normalizadas que reflejan con precisión los temas tratados en las publicaciones. Las más relevantes fueron:
 - *Battery Management Systems* (380 documentos)
 - *Lithium-ion Batteries* (364 resultados)
 - *Thermal Management (electronics)* (325 documentos)
 - *Temperature Control* (297 documentos)
 - *Electric Vehicles* (222 resultados)
- **Idioma:** La búsqueda fue restringida a publicaciones en inglés, resultando en 596 artículos científicos. Solo se identificaron 2 artículos adicionales en francés, que fueron excluidos para mantener la homogeneidad idiomática del análisis.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se habilitó el filtro de acceso libre, lo que permite la inclusión exclusiva de artículos que están disponibles para consultar y descargar sin costo, lo que promueve la transparencia y el acceso a la información científica. Todos los documentos cumplen con este requisito.
- **Total, final exportable:** Tras aplicar todos los filtros mencionados, se logró una muestra final de 596 artículos de investigación que tratan sobre el diseño, la implementación y la evaluación de sistemas térmicos para baterías en automóviles eléctricos.

12. Battery safety AND thermal runaway

Para asegurar que la muestra documental sea relevante, actualizada y científicamente sólida, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se acotó la búsqueda al intervalo 2011–2024, considerando que a partir de 2011 se incrementaron notablemente las investigaciones sobre la seguridad de las baterías debido a incidentes reportados en dispositivos y vehículos eléctricos.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron disciplinas técnicas relacionadas con energía, ingeniería de materiales y procesos térmicos, lo cual asegura un enfoque integral del problema:
 - *Energy* (292 resultados)
 - *Engineering* (274 resultados)
 - *Chemistry* (187 resultados)



- *Materials Science* (106 resultados)
- **Tipo de documento:** Solo se consideraron artículos científicos (Article) revisados por pares, obteniendo un total de 408 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Para afinar aún más la búsqueda, se aplicaron etiquetas específicas relacionadas con el tema de la seguridad térmica en baterías. Las más representativas fueron:
 - *Lithium-ion Batteries* (340 documentos)
 - *Thermal Runaways* (275 resultados)
 - *Thermal Runaway* (181 resultados)
 - *Ions* (188 documentos)
 - *Battery Safety* (81 documentos)
 - *Lithium-ion Battery* (99 resultados)
 - *Lithium Compounds* (73 documentos)
- **Idioma:** Se filtraron únicamente publicaciones en inglés, alcanzando los 408 documentos seleccionados para el análisis.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se activó el filtro para incluir únicamente documentos en acceso abierto, lo cual garantiza la posibilidad de lectura y descarga total del contenido científico. Todos los artículos de la muestra final cumplen con esta condición.
- **Total, final exportable:** Después de aplicar todos los filtros descritos, se obtuvo una muestra final de 408 artículos científicos relevantes para analizar los mecanismos de inestabilidad térmica, estrategias de mitigación de riesgos, gestión térmica preventiva y normativas relacionadas con la seguridad de las baterías en el sector automotriz

13. Battery cost AND electric vehicles

En este comando se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se estableció un período de búsqueda desde 2005 hasta 2024, coincidiendo con el intervalo delimitado en el alcance del estudio y con el surgimiento de análisis económicos enfocados en baterías para electromovilidad.
- **Área temática o “Subject area”:** Se priorizaron las disciplinas relacionadas tanto con los aspectos técnicos de las baterías como con su análisis económico y ambiental:
 - *Engineering* (1.931 resultados)
 - *Energy* (1.416 resultados)
 - *Environmental Science* (534 resultados)
 - También se destacaron: *Computer Science* (539), *Mathematics* (528), *Social Sciences* (354) y *Materials Science* (296)
- **Tipo de documento:** Solo se seleccionaron artículos científicos (Article), asegurando la revisión por pares y el rigor metodológico. El total obtenido fue de 2.481 documentos.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se utilizaron etiquetas controladas que agrupan los artículos por temáticas estandarizadas dentro de Scopus. Las más relevantes fueron:
 - *Charging (batteries)* (1.380 resultados)
 - *Electric Vehicles* (1.337)
 - *Electric Vehicle* (1.012)



- *Secondary Batteries* (869)
- *Costs* (608)
- Otras etiquetas relevantes incluyeron: *Electric Vehicle Charging* (389) y *Optimization* (353)
- **Idioma:** La búsqueda fue restringida a publicaciones en inglés, obteniendo los 2.481 artículos en esta lengua. Solo se identificaron algunos documentos en japonés, francés y chino que fueron descartados para mantener homogeneidad idiomática.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se estableció un criterio que garantiza que todas las publicaciones seleccionadas sean de acceso gratuito, facilitando su análisis, revisión y reutilización en el campo académico.
- **Total, final exportable:** A través de un meticuloso proceso de filtrado, se logró compilar un conjunto final de 2.481 investigaciones científicas que analizan el precio de las baterías en relación con la electrificación del transporte, los efectos en la competitividad de las tecnologías comerciales, la reducción de costos a lo largo de su ciclo de vida y las proyecciones de disminución de precios derivadas de la innovación.

14. Battery recycling AND lithium-ion

Para depurar los resultados y garantizar la calidad de la información recopilada, en este comando se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se delimitaron los resultados al intervalo 2005–2024, en concordancia con el marco temporal definido en el alcance metodológico de esta investigación.
- **Área temática o “Subject area”:** Se seleccionaron disciplinas científicas que abordan los aspectos técnicos, químicos, energéticos y medioambientales implicados en el reciclaje de baterías:
 - *Environmental Science* (276 resultados)
 - *Energy* (272)
 - *Engineering* (244)
 - *Chemistry* (230)
 - *Materials Science* (209)
- **Tipo de documento:** Se filtraron únicamente artículos científicos (*Article*), lo que asegura la inclusión de estudios revisados por pares con enfoque académico riguroso. Se recuperaron 695 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se utilizaron etiquetas controladas dentro de Scopus para refinar aún más el contenido temático. Las etiquetas más relevantes fueron:
 - *Lithium-ion Batteries* (596 documentos)
 - *Recycling* (543)
 - *Electronic Waste* (297)
 - *Ions* (252)
 - También se identificaron términos clave como *Lithium Compounds* (184), *Lithium* (166) y *Cathodes* (148)
- **Idioma:** La búsqueda se limitó a artículos en inglés, obteniendo los 695 documentos finales. Se detectaron solo 2 artículos adicionales en bosnio, que fueron descartados para mantener consistencia lingüística.



- **Acceso abierto (“Open access”)**: Se implementó el criterio de acceso abierto para asegurar que cada uno de los artículos obtenidos sea accesible para revisión y descarga completa. Todos los resultados satisfacen este criterio.
- **Total, final exportable**: Después de aplicar todos los criterios, se logró una muestra sólida de 695 artículos académicos que tratan el reciclaje de baterías de ion de litio desde diversas perspectivas: recuperación de metales valiosos (incluyendo litio, cobalto y níquel), manejo de residuos electrónicos, evaluación del ciclo de vida y normativas de sostenibilidad.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

Con el fin de delimitar el universo documental de manera precisa y coherente con los objetivos de este estudio, en este comando se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal**: Para este comando los artículos fueron publicados a partir de 2010 por ende se seleccionó el intervalo de búsqueda entre 2010 y 2024, reconociendo que los estudios sobre baterías de litio-azufre han ganado relevancia en la última década debido a su potencial comercial.
- **Área temática o “Subject area”**: Se seleccionaron publicaciones correspondientes a disciplinas científicas relevantes para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento energético:
 - *Materials Science* (241 resultados)
 - *Chemistry* (181)
 - *Energy* (161)
 - *Engineering* (140)
 - *Chemical Engineering* (103)
- **Tipo de documento**: Se filtraron exclusivamente artículos científicos (*Article*), garantizando la inclusión de investigaciones académicas revisadas por pares. Esto resultó en un total de 390 publicaciones.
- **Palabras clave (“Keyword”)**: Se utilizaron términos estandarizados en Scopus para afinar aún más la especificidad de la búsqueda. Las etiquetas más relevantes fueron:
 - *Lithium Sulfur Batteries* (300 documentos)
 - *Lithium Compounds* (255)
 - *Lithium Batteries* (249)
 - *Polysulfides* (177)
 - *Lithium/sulfur Batteries* (138)
 - Otras palabras clave relevantes incluyeron *Cathodes* (155) y *Sulfur* (136)
- **Idioma**: La búsqueda se restringió a publicaciones en inglés, obteniéndose los 390 artículos correspondientes, sin excluir otros idiomas para mantener consistencia metodológica.
- **Acceso abierto (“Open access”)**: Se aplicó el filtro de acceso abierto, de modo que todos los documentos recuperados están disponibles para su consulta completa, asegurando transparencia y acceso a la información científica.
- **Total, final exportable**: La muestra final resultante incluye 390 artículos científicos que analizan las características técnicas, los desafíos de estabilidad, el uso de nuevos materiales catódicos, y las aplicaciones potenciales de las baterías



de litio-azufre en vehículos eléctricos, drones, almacenamiento estacionario y sistemas portátiles de energía.

16. Aluminum-air battery AND mobility

Para pulir la relevancia de la información obtenida, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** La búsqueda se restringió al período 2005–2024, conforme al intervalo metodológico general definido en el alcance del trabajo de investigación.
- **Área temática o “Subject area”:** Las publicaciones identificadas pertenecen a áreas científicas pertinentes a la investigación y desarrollo de tecnologías electroquímicas avanzadas:
 - *Energy* (4 resultados)
 - *Chemistry* (3)
 - *Chemical Engineering* (2)
 - *Engineering* (2)
 - *Environmental Science* (2)
- **Tipo de documento:** Se recuperaron 6 documentos con los siguientes tipos:
 - *Artículos científicos (Articles):* 2
 - *Ponencias en conferencias (Conference papers):* 2
 - *Capítulo de libro (Book chapter):* 1
 - *Artículo de revisión (Review):* 1
- **Palabras clave (“Keyword”):** Las etiquetas más representativas aplicadas a los documentos fueron:
 - *Aluminum* (4 resultados)
 - *Electrolytes* (4)
 - *Air Cells* (2)
 - *Alkalinity* (2)
 - *Energy Storage Capacity* (2)
- **Idioma:** Solo se encontraron publicaciones en inglés, resultando en un total de 6 documentos.
- **Acceso abierto (“Open access”):** De estos documentos, 3 están accesibles de forma abierta, lo que permite su lectura, descarga y utilización para propósitos académicos sin limitaciones.
- **Total, final exportable:** La cantidad total de publicaciones obtenidas consiste en 6 trabajos que examinan las características fisicoquímicas del sistema de aluminio-aire, su eficacia energética, los desafíos de recarga y las posibilidades de uso en aplicaciones de movilidad, tanto en vehículos de bajo consumo energético como en sistemas de energía portátil. Aunque todavía se encuentra en fase de investigación, esta tecnología se presenta como una opción viable en situaciones donde la densidad energética es esencial.

17. Fast charging AND Li-ion battery

Para asegurar que los resultados fueran precisos, actuales y de calidad científica, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se estableció un intervalo entre 2011 y 2024, periodo en el que la investigación sobre fast charging ha ganado impulso debido al crecimiento del



mercado de vehículos eléctricos y la demanda por soluciones de carga más rápidas y eficientes.

- **Áreas temáticas ("Subject area"):** Se seleccionaron disciplinas directamente relacionadas con el desarrollo de materiales y sistemas de carga para baterías avanzadas:
 - *Energy* (211 resultados)
 - *Chemistry* (164)
 - *Engineering* (151)
 - *Materials Science* (140)
 - *Chemical Engineering* (54)
- **Tipo de documento:** Se filtraron únicamente artículos científicos (*Article*), alcanzando un total de 329 publicaciones revisadas por pares y con contribuciones relevantes al estudio técnico de las baterías.
- **Palabras clave ("Keyword"):** Scopus permitió el uso de etiquetas controladas para refinar aún más la búsqueda, destacándose las siguientes:
 - *Lithium-ion Batteries* (306 documentos)
 - *Charging (batteries)* (227)
 - *Ions* (180)
 - *Fast Charging* (115)
 - *Lithium Compounds* (104)
 - Además, se encontraron temas relacionados como *Anodes* (86) y *Battery Management Systems* (75)
- **Idioma:** La búsqueda se limitó a publicaciones en inglés, cumpliendo con estándares internacionales de publicación científica. Se obtuvieron 329 documentos en este idioma.
- **Acceso abierto ("Open access"):** Todos los resultados están disponibles en acceso abierto, lo que facilita su consulta, análisis y uso posterior en revisiones sistemáticas o citas académicas.
- **Total, final exportable:** Como resultado de este proceso, se identificaron 329 artículos científicos de alta relevancia que abordan los mecanismos fisicoquímicos y electrónicos de la carga rápida en baterías de ion de litio, las implicaciones para la degradación de los materiales, los desafíos térmicos, y las nuevas estrategias para mejorar la vida útil de estas baterías bajo condiciones de alta demanda.

18. Energy storage AND battery degradation

Para obtener una muestra altamente representativa y relevante, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** La búsqueda abarcó el período comprendido entre 2005 y 2024, siguiendo los lineamientos temporales establecidos en el alcance de este estudio.
- **Áreas temáticas ("Subject area"):** Se delimitaron los campos científicos más relevantes que concentran la producción académica relacionada con almacenamiento de energía y degradación de baterías:
 - *Engineering* (2,599 resultados)
 - *Energy* (2,351)
 - *Materials Science* (1,287)
 - *Chemistry* (1,093)



- *Computer Science* (671)
- **Tipo de documento:** Se filtraron distintos tipos de publicaciones, priorizando aquellas que ofrecen contenido científico consolidado y revisado por pares. La distribución fue:
 - *Artículos científicos (Articles)*: 2,860
 - *Revisiones (Review articles)*: 411
- **Palabras clave (“Keyword”):** Para garantizar la pertinencia de los resultados, se seleccionaron etiquetas estándar relevantes en el contexto del análisis técnico:
 - *Lithium-ion Batteries* (1,497 documentos)
 - *Energy Storage* (1,424)
 - *Secondary Batteries* (854)
 - *Degradation* (848)
 - *Ions* (761)
- **Idioma:** Se limitó la búsqueda a documentos en inglés, resultando en 4,462 publicaciones, con mínima presencia en otros idiomas.
- **Acceso abierto (“Open access”):** Se aplicó el filtro correspondiente, obteniendo 1,488 documentos disponibles en acceso abierto, lo cual facilita su uso en el análisis bibliométrico sin restricciones de acceso.
- **Total, final exportable:** Luego de aplicar todos los filtros, se logró identificar una base de 4,462 documentos científicos, de los cuales 1,488 están disponibles en acceso abierto. Estos documentos exploran desde el comportamiento electroquímico de las baterías hasta su envejecimiento en función del número de ciclos, condiciones térmicas, carga rápida, entre otros factores.

19. Commercial battery AND vehicle

Para garantizar la calidad y pertinencia de los documentos obtenidos, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se definió un intervalo entre 2005 y 2024, alineado con el periodo establecido en el alcance metodológico del presente trabajo de titulación.
- **Áreas temáticas (“Subject area”):** Se limitaron los resultados a publicaciones dentro de campos altamente relacionados con la ingeniería energética, automotriz y almacenamiento electroquímico:
 - *Engineering* (2,742 resultados)
 - *Energy* (1,587)
 - *Computer Science* (704)
 - *Environmental Science* (588)
 - *Materials Science* (584)
- **Tipo de documento:** Se seleccionó únicamente el tipo “Article”, lo que asegura que los resultados estén basados en estudios científicos originales, con validación por pares y metodología explícita. Este filtro arrojó un total de 1,861 artículos científicos.
- **Palabras clave (“Keyword”):** Se emplearon etiquetas controladas proporcionadas por Scopus, las cuales permitieron segmentar la búsqueda hacia áreas específicas. Las principales palabras clave asociadas al comando fueron:
 - *Commercial Vehicles* (1,171 documentos)
 - *Charging (batteries)* (1,107)



- *Lithium-ion Batteries* (1,043)
- *Electric Vehicles* (1,007)
- *Secondary Batteries* (789)
- **Idioma:** Se filtraron exclusivamente artículos escritos en inglés, con un total de 3,815 publicaciones en este idioma. Si bien se encontraron documentos en otros idiomas (como chino, japonés o alemán), no fueron considerados para asegurar coherencia en el análisis bibliométrico.
- **Acceso abierto ("Open access"):** Se activó el filtro de "All open access", con lo cual se obtuvieron 1,020 artículos disponibles para consulta pública y libre descarga. Este criterio mejora la accesibilidad al contenido para su análisis en software como VOSviewer.
- **Total, final exportable:** Tras la aplicación de los filtros, se obtuvieron 1,861 artículos científicos altamente pertinentes, que abordan temas como integración de baterías comerciales en vehículos eléctricos e híbridos, evaluación de desempeño en condiciones reales, diseño térmico, seguridad operacional y ciclo de vida.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

En este comando, para refinar la búsqueda y asegurar la calidad y relevancia de los resultados, se aplicaron los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se estableció un intervalo de búsqueda entre 2010 y 2024, ya que en este intervalo aparecen publicaciones en este comando, en correspondencia con el periodo de análisis definido en el alcance metodológico de esta investigación, si abarca.
- **Áreas temáticas ("Subject area"):** Se delimitaron las publicaciones a disciplinas directamente asociadas a la tecnología y gestión de sistemas de baterías para movilidad eléctrica:
 - *Engineering* (30 resultados)
 - *Energy* (27)
 - *Environmental Science* (10)
- **Tipo de documento:** Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos ("Article"), lo cual garantizó la inclusión de investigaciones originales y revisadas por pares. El total de resultados tras este filtro fue de 40 documentos científicos.
- **Palabras clave ("Keyword"):** Las etiquetas de indexación utilizadas en la base de datos ayudaron a concentrar la búsqueda en términos clave relacionados con el funcionamiento y desarrollo de baterías para vehículos eléctricos. Las más destacadas fueron:
 - *Electric Vehicles* (16 documentos)
 - *Charging (batteries)* (13)
 - *Electric Vehicle* (11)
 - *Lithium-ion Batteries* (11)
 - *Secondary Batteries* (11)
 - *Vehicle-to-grid* (7)
 - *Battery Management Systems* (6)
- **Idioma:** Todos los resultados se limitaron a publicaciones en inglés, lo que facilitó el acceso a literatura científica internacional de alto impacto. El número total de documentos en este idioma fue de 40.



- **Acceso abierto ("Open access"):** Se seleccionó la opción de acceso completo, asegurando que todos los documentos pudieran descargarse para su análisis bibliométrico. Los 40 artículos recuperados cumplen este criterio, lo que los hace listos para su procesamiento mediante software como VOSviewer.
- **Resultado final exportable:** Tras implementar todos los filtros indicados, el grupo final consistió en 40 artículos científicos muy especializados, los cuales facilitan un análisis técnico comparativo de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos.

Luego de realizar una pesquisa avanzada en Scopus, se procedió a efectuar una revisión sistemática en la base de datos Web of Science, que igualmente es considerada una de las plataformas reconocidas a nivel global por su estricto criterio en la selección de literatura científica de excelente calidad. Similar a lo que se hizo en Scopus, la recolección de datos en Web of Science se realizó uniendo palabras clave temáticas con filtros específicos. Esto facilitó la precisión de los resultados y garantizó que la información recabada fuera pertinente. Gracias a este enfoque, se lograron obtener artículos científicos que abordan temas como la eficiencia, la seguridad, la duración, la densidad energética, los costos y el rendimiento de diferentes tecnologías de baterías en aplicaciones vehiculares reales.

En seguida se enlistan los comandos combinados utilizados:

1. Li-ion battery AND energy density

El proceso de recolección y filtrado de los datos se llevó a cabo aplicando los siguientes criterios avanzados:

- **Rango temporal:** La investigación se restringió al periodo de 2005 a 2024, en concordancia con el ámbito definido del estudio. Aunque la mayoría de los documentos recolectados se enfocan en el año 2024 (395 artículos), esto subraya la importancia actual del asunto en debate.
- **Tipo de documento:** Únicamente se tomaron en cuenta artículos científicos "Article", llegando a un total de 396 documentos seleccionados. Esta elección aseguró que los hallazgos logrados provengan de investigaciones iniciales que habían sido revisadas por colegas..
- **Acceso abierto:** Se aplicó el filtro de "All Open Access", con lo cual se obtuvo un conjunto de 396 publicaciones completamente accesibles para el análisis bibliométrico. Esto garantiza la transparencia del proceso y la disponibilidad de los textos completos para su posterior procesamiento con software especializado.
- **Filtros adicionales (Quick filters):**
 - *Early Access:* 2 documentos fueron clasificados como de acceso temprano, lo que indica publicaciones recientes que aún no han sido asignadas a un volumen final.
 - *Enriched Cited References:* 284 publicaciones disponían de referencias enriquecidas, lo que simplifica el estudio de redes de citación y co-citación en investigaciones bibliométricas.
 - *Open Publisher-Invited Reviews:* 7 documentos son parte de revisiones invitadas por editoriales, lo que aporta valor como una síntesis de saber experto en el asunto.



- **Idioma:** Se publicaron todos los documentos en inglés, asegurando así el acceso a literatura científica de mayor visibilidad y con una rigurosidad académica a escala global.
- **Autores recurrentes:** Entre los autores con mayor número de publicaciones en esta búsqueda se destacan:
 - o *J. R. Dahn* (7 artículos)
 - o *Clare P. Grey* (5 artículos)
 - o *Dong-Hwa Seo, Marnix Wagemaker y Michael De Volder* (5 artículos cada uno)
- **Resultado final exportable:** Tras aplicar todos los filtros avanzados mencionados, el total de publicaciones recuperadas fue de 396 artículos científicos, todos ellos disponibles en acceso abierto, indexados en Web of Science, y centrados en las propiedades energéticas de las baterías de ion de litio.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

Para garantizar la calidad, actualidad y pertinencia de la información, se aplicaron los siguientes filtros:

- **Rango temporal:** La búsqueda se limitó al período comprendido entre 2005 y 2024, lo cual coincide con el alcance temporal definido para este estudio. La mayor parte de los documentos fueron publicados en el año 2024, con un total de 1.772 resultados, lo que evidencia un fuerte interés actual por este tema.
- **Tipo de documento:** Se filtraron los siguientes tipos:
 - o *Artículos científicos ("Article")*: 1.487 documentos
 - o *Revisiones ("Review Article")*: 210 documentos
 - o *Proceedings papers (congresos)*: 91 documentos
 - o *Early Access*: 25 documentos
 - o *Editorial* *Material*: 5 documentos
- **Acceso abierto ("Open Access"):** Se aplicó el filtro "All Open Access", permitiendo la selección de 638 publicaciones de libre acceso, disponibles para su posterior análisis con herramientas bibliométricas como VOSviewer y Bibliometrix.
- **Filtros adicionales ("Quick Filters"):**
 - o *Enriched Cited References*: 1.067 documentos contienen referencias enriquecidas, útiles para el estudio de redes de citación y co-citación.
 - o *Open Publisher-Invited Reviews*: Se identificaron 10 documentos clasificados como revisiones invitadas por editoriales, lo que refuerza su valor académico.
- **Idioma:** La mayoría de las publicaciones fueron escritas en inglés (1.783), con mínimas participaciones en chino (5) y coreano (2). Se priorizará el análisis de documentos en inglés por razones de accesibilidad y alcance internacional.
- **Autores más destacados:** En esta búsqueda sobresalen investigadores especializados en degradación de baterías, entre ellos:
 - o *Feng Wu* (18 documentos)
 - o *Yuefeng Su* (14 documentos)
 - o *Xuezhe Wei* (12 documentos)



- Dirk Uwe Sauer y Caiping Zhang (11 documentos cada uno)
- **Resultado final seleccionable:** Tras aplicar todos los filtros, el corpus documental elegible asciende a 638 publicaciones en acceso abierto enfocadas en la degradación de baterías de ion de litio.

3. Li-ion battery AND safety

El proceso de búsqueda se estructuró aplicando los siguientes filtros avanzados:

- **Rango temporal:** Se consideraron publicaciones desde 2005 hasta 2024, en conformidad con el período de análisis definido en el alcance de esta investigación. La mayoría de los documentos se concentran en el año 2024, con un total de 215 publicaciones, lo que demuestra la relevancia actual del tema.
- **Tipo de documento:** Se seleccionaron únicamente:
 - *Artículos científicos* (“Article”): 216 documentos.
 - También se registraron 1 documento en modalidad *Proceeding Paper* y 1 en *Early Access*, aunque no se priorizarán para el análisis.
- **Acceso abierto (“Open Access”):** Se activó el filtro “All Open Access”, con lo cual se recuperaron 216 publicaciones disponibles en su totalidad, lo que garantiza un análisis reproducible y acceso libre a los datos.
- **Filtros adicionales (“Quick Filters”):**
 - *Enriched Cited References*: 160 documentos incluyen referencias enriquecidas, útiles para analizar redes de citación y relaciones temáticas entre autores.
 - *Open Publisher-Invited Reviews*: Se registraron 3 documentos etiquetados como revisiones por invitación, indicando su alta valoración editorial.
- **Idioma:** Todas las publicaciones están en inglés (216 documentos), lo que contribuye a su alto impacto en la comunidad científica internacional.
- **Autores destacados:** En este comando reaparecen investigadores clave como:
 - Jang-Hee Yoon, Byung-hyun Shin, Jung-Woo Ok, Seongjun Kim y Jinyong Park, con entre 6 y 7 publicaciones cada uno.
- **Resultado final:** Aplicando todos los filtros, se obtuvo un total de 216 artículos científicos en acceso abierto que abordan específicamente la seguridad térmica en baterías Li-ion.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

La búsqueda fue acotada mediante los siguientes filtros:

- **Rango temporal:** Se delimitó entre los años 2005 y 2024, en correspondencia con el intervalo establecido en el alcance de esta investigación. En este caso, la mayoría de los artículos identificados se concentran en el año 2024, reflejando una vigencia emergente del tema.
- **Tipo de documento:**
 - Solo se seleccionaron documentos clasificados como artículos científicos (“Article”), alcanzando un total de 4 publicaciones. Esta selección garantiza la inclusión de literatura con rigor metodológico y revisión por pares.
- **Acceso abierto (“Open Access”):**
 - Se activó el filtro “All Open Access”, con lo cual se obtuvieron 4 documentos completamente disponibles para descarga, lectura y análisis.



- **Filtros adicionales:**
 - *Enriched Cited References:* 2 de los documentos incluyen referencias enriquecidas, lo cual facilita su integración dentro de redes de citación y análisis de impacto académico.
- **Idioma:** Todos los documentos están disponibles en inglés, lo que favorece su difusión y aprovechamiento a nivel internacional.
- **Autores destacados:**
 - Entre los investigadores que figuran en los resultados se encuentran *Nilay Elginöz, Weixiang Shen, Angel Molina-García, Antonio Mateo-Aroca y Muhammad Akbar Rhamdhani*, cada uno con una publicación relacionada con el comando aplicado.
 - Aunque el volumen de publicaciones identificadas es reducido, los resultados obtenidos representan evidencia científica concreta sobre el papel de las baterías NiMH en la electrificación automotriz, especialmente en vehículos híbridos, donde su uso ha sido históricamente más extendido por su estabilidad y robustez.
- **Resultado final exportable:** Tras aplicar todos los filtros, se obtuvo un conjunto total de 4 artículos científicos en acceso abierto

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

La estrategia de búsqueda aplicó los siguientes filtros refinados:

- **Rango temporal:** Se delimitaron las publicaciones comprendidas entre 2005 y 2024, de acuerdo con el período establecido en el alcance del estudio. Se observa un interés creciente en el año 2024, lo cual sugiere un auge en la investigación sobre esta tecnología en la actualidad.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos (“Article”), resultando en 38 publicaciones. Esto asegura la calidad metodológica del material analizado, ya que todos los documentos pasaron por procesos de revisión por pares.
- **Acceso abierto (“Open Access”):**
 - Se activó el filtro “All Open Access”, obteniendo así 38 publicaciones disponibles en acceso libre, lo que permite su análisis y uso sin restricciones, garantizando transparencia y disponibilidad de la información.
- **Filtros adicionales:**
 - *Early Access:* 2 publicaciones clasificadas como “Early Access” indican investigaciones recientes aún en proceso editorial, lo que refuerza la vigencia del tema.
 - *Enriched Cited References:* 26 artículos contienen referencias enriquecidas, útiles para futuros análisis de co-citación y mapeo de redes científicas.
- **Idioma:** Todas las publicaciones están en inglés, lo cual refuerza su visibilidad y su potencial impacto internacional.
- **Autores destacados:**
 - Entre los autores recurrentes en este conjunto se destacan *Silvia Fiore, Martina Bruno y Jijun Wu*, cada uno con al menos dos publicaciones, lo



que permite identificar actores clave en la investigación sobre baterías LFP y eficiencia energética.

- **Resultado final exportable:** Luego de aplicar todos los filtros, se obtuvieron 38 artículos científicos en acceso abierto

6. Solid-state battery AND commercialization

Los filtros aplicados fueron los siguientes:

- **Rango temporal:** Se delimitó el análisis a las publicaciones comprendidas entre 2005 y 2024, con un enfoque especial en la producción académica del año 2024, que concentra la totalidad de los documentos identificados en esta búsqueda. Esto evidencia un notable aumento del interés en la comercialización de esta tecnología durante el periodo más reciente.
- **Tipo de documento:**
 - o Se seleccionaron únicamente artículos científicos ("Article"), con un total de 31 documentos, asegurando la validez científica y metodológica del contenido a analizar.
- **Acceso abierto ("Open Access"):**
 - o Todas las publicaciones (31) están disponibles en acceso abierto, lo cual garantiza la accesibilidad y transparencia del conocimiento para su inclusión en análisis posteriores.
- **Filtros adicionales:**
 - o *Enriched Cited References:* 25 de los artículos incluyen referencias enriquecidas, lo que los hace útiles para análisis de co-citación y evolución temática.
 - o *Open Publisher-invited Reviews:* Se identificó una revisión por invitación editorial, lo cual aporta una perspectiva especializada y actualizada del estado de comercialización.
- **Idioma:** Todos los artículos están redactados en inglés, consolidando su visibilidad global y permitiendo una integración más sólida en el análisis comparativo con tecnologías discutidas a nivel internacional.
- **Autores destacados:**
 - o Entre los investigadores más activos en esta línea temática se destacan *Mauro Pasta*, *Maksym V. Kovalenko* y *Matthias Klimpel*, quienes han contribuido con estudios relevantes sobre viabilidad comercial, escalabilidad y avances técnicos de las baterías de estado sólido.
- **Resultado final exportable:** Se consolidaron 31 artículos científicos relevantes, en acceso abierto y con alto valor analítico

7. Sodium-ion battery AND performance

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se estableció el período de búsqueda entre 2005 y 2024, de acuerdo con el intervalo metodológico definido en el alcance del estudio. La totalidad de los documentos (412) pertenecen al año 2024, lo que evidencia un creciente interés en esta tecnología durante la actualidad.
- **Tipo de documento:**



- Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos ("Article"), lo que garantiza la revisión por pares y la robustez metodológica en los estudios analizados. Total: 412 documentos.
- **Acceso abierto ("Open Access"):**
 - Todos los artículos identificados (412) están disponibles en acceso abierto, facilitando su descarga, análisis y utilización dentro del marco de investigación bibliométrica.
- **Filtros adicionales:**
 - *Early Access*: Tres artículos están en fase de publicación anticipada, lo que significa que representan contribuciones de vanguardia que todavía no se han asignado a un volumen definitivo.
 - *Enriched Cited References*: 312 publicaciones tienen referencias enriquecidas, lo cual las hace más útiles para la investigación de coautoría, análisis de citaciones y redes temáticas.
 - *Open publisher-invited reviews*: 10 artículos pertenecen a revisiones por invitación editorial, lo cual evidencia el interés de las editoriales científicas en promover investigaciones sobre la efectividad de esta tecnología.
- **Idioma**: Todos los documentos están escritos en inglés, lo cual contribuye a su visibilidad internacional y permite su integración con estudios globales sobre tecnologías de baterías emergentes.
- **Autores recurrentes destacados:**
 - Se destacan investigadores como *José L. Tirado*, *Shulei Chou*, *Emma Kendrick* y *Axel Gross*, cuyas contribuciones ofrecen enfoques innovadores sobre la mejora del rendimiento, la eficiencia de carga/descarga y la estabilidad térmica en las baterías de sodio.
- **Resultado final exportable:**

Se consolidaron 412 artículos científicos relevantes sobre baterías de sodio-ion y su rendimiento, todos en acceso abierto y dentro del período establecido (2005–2024).

8. Hybrid battery AND lifetime

Filtros aplicados:

- **Rango temporal**: Se delimitaron las publicaciones al período comprendido entre 2005 y 2024, en cumplimiento del intervalo establecido en el alcance de la presente investigación. Todos los artículos recuperados pertenecen al año 2024, lo que indica un renovado interés en el análisis de baterías híbridas y su desempeño en condiciones reales de operación.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron únicamente artículos científicos ("Article"), excluyendo otros tipos de literatura como actas de conferencias o revisiones editoriales. Esto permite enfocar el análisis en investigaciones con metodología científica validada. Total: 75 documentos.
- **Acceso abierto ("Open Access"):**



- Los 75 artículos obtenidos están disponibles en acceso abierto, lo cual garantiza su disponibilidad para lectura, exportación y procesamiento dentro del análisis bibliométrico.
- **Filtros adicionales relevantes:**
 - *Enriched Cited References:* 50 artículos contienen referencias enriquecidas, lo cual permite un análisis más profundo de citaciones y conexiones temáticas en el campo de la vida útil de las baterías híbridas.
 - *Idioma:* Todos los documentos están publicados en inglés, facilitando su reconocimiento en la comunidad académica internacional.
- **Autores más frecuentes:**
 - Entre los investigadores más destacados en esta temática figuran *Seyed Amin Mirhashemi Rostami, Christoph Hametner, Dirk Uwe Sauer, Moien A. Omar y Sankarshan Durgaprasad*, quienes han abordado temas como modelado del ciclo de vida, optimización de gestión energética y degradación progresiva de baterías híbridas en escenarios de movilidad.
- **Resultado final exportable:**
El proceso de búsqueda permitió recuperar 75 artículos científicos en acceso abierto, completamente alineados con el enfoque técnico de esta investigación.

9. Battery efficiency AND charging

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se delimitó el intervalo de búsqueda entre 2005 y 2024, en concordancia con el marco temporal definido en el alcance de este estudio. Los artículos obtenidos se concentran principalmente en publicaciones del año 2024, lo que refleja la relevancia actual del tema en el ámbito de la investigación energética.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron únicamente artículos científicos ("Article"), excluyendo revisiones, ponencias de congresos u otro tipo de publicaciones. Esto permitió garantizar el rigor metodológico de los trabajos analizados. Total: 897 artículos.
- **Acceso abierto ("Open Access"):**
 - La totalidad de los documentos identificados (897) están disponibles en acceso abierto, lo cual facilita su disponibilidad para lectura, exportación y procesamiento bibliométrico.
- **Filtros adicionales relevantes:**
 - *Enriched Cited References:* 580 artículos cuentan con referencias enriquecidas, lo que habilita un análisis bibliométrico más robusto sobre patrones de citación y relaciones temáticas.
 - *Early Access:* 7 documentos corresponden a publicaciones de acceso anticipado, lo cual indica investigaciones aún en etapa de prepublicación, pero ya disponibles para el análisis.
 - *Idioma:* Todos los artículos están en **inglés**, lo cual refuerza su impacto global y su utilidad dentro del análisis bibliométrico internacional.



- **Principales autores recurrentes:**
 - o Destacan en esta línea de investigación autores como *Narayanamoorthi Rajamanickam, Mekhilef Saad, Gareth Taylor, Mohit Bajaj y Chun Sing Lai*, quienes han abordado temas relacionados con la gestión de carga inteligente, optimización energética y eficiencia de conversión en distintos tipos de baterías.
- **Resultado final exportable:**
El proceso de búsqueda arrojó un total de 897 artículos científicos en acceso abierto, listos para ser exportados y analizados.

10. Battery lifespan AND Li-ion

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - o Se definió un intervalo entre los años 2005 y 2024, en correspondencia con el período delimitado en el alcance metodológico de esta investigación. La mayoría de los artículos recuperados corresponden al año 2024, lo que resalta el interés actual en la mejora de la vida útil de las baterías.
- **Tipo de documento:**
 - o Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos (“Article”), garantizando la calidad metodológica y la relevancia técnica de los estudios incluidos. Total, de documentos: 55 artículos.
- **Acceso abierto:**
 - o La totalidad de los documentos (55) están disponibles en acceso abierto, lo que permite su consulta libre y su incorporación al análisis bibliométrico sin restricciones de acceso.
- **Filtros adicionales relevantes:**
 - o *Enriched Cited References*: 34 artículos incluyen referencias enriquecidas, lo que permite estudiar patrones de citación y evaluar la influencia de estos trabajos dentro de la comunidad científica.
 - o *Early Access*: Se identificaron 2 publicaciones en estado de acceso anticipado, lo que refleja la incorporación de resultados recientes en esta línea de investigación.
 - o *Idioma*: Todos los documentos están publicados en inglés, lo que garantiza una mayor cobertura internacional y visibilidad académica.
- **Autores destacados:**
 - o Algunos autores recurrentes en esta temática fueron *Federico Gallorini, Linda Barelli, Michael De Volder y Dario Pelosi*, quienes han abordado tópicos como la degradación térmica, eficiencia de carga a largo plazo, y materiales avanzados para mejorar la vida útil de las baterías Li-ion.
- **Resultado final exportable:**
Tras aplicar los filtros avanzados, se obtuvo un total de 55 artículos científicos en acceso abierto. Este conjunto documental constituye una base sólida para analizar los factores que afectan la duración operativa de las baterías Li-ion

11. Battery thermal management AND vehicle

Filtros aplicados:



- **Rango temporal:**
 - o La búsqueda se limitó al período 2005–2024, conforme al marco temporal establecido en el alcance de este estudio.
- **Tipo de documento:**
 - o Se filtraron únicamente artículos científicos (Articles), considerados los más relevantes por su rigurosidad metodológica. Total, de artículos: 180.
- **Acceso abierto:**
 - o Todos los documentos obtenidos están disponibles en acceso abierto (Open Access), facilitando su incorporación al análisis bibliométrico y su consulta completa.
- **Otros filtros relevantes:**
 - o *Early Access*: 1 artículo se encuentra en etapa de publicación anticipada, reflejando la vigencia del tema.
 - o *Enriched Cited References*: 129 artículos presentan referencias enriquecidas, lo cual permite explorar relaciones de citación y fortalece el análisis estructural del campo.
 - o *Idioma*: Todos los artículos están escritos en inglés, lo que garantiza su visibilidad y relevancia en la comunidad científica internacional.
- **Autores destacados:**

Se identificaron investigadores con múltiples publicaciones sobre este tema, como *Abbas Fotouhi*, *Dirk Uwe Sauer* y *Tiansi Wang*, quienes han abordado tópicos como la modelación térmica en celdas Li-ion, estrategias de enfriamiento pasivo/activo, y diseño de sistemas BMS (Battery Management System) con control térmico adaptativo.
- **Resultado final exportable:**

Tras la aplicación de los filtros avanzados, se obtuvo un total de 180 artículos científicos en acceso abierto, que abordan con profundidad temas como la gestión térmica de baterías en vehículos eléctricos, la influencia de la temperatura en la degradación de celdas, y nuevas tecnologías de refrigeración

12. Battery safety AND thermal runaway

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - o Se seleccionaron publicaciones comprendidas entre 2005 y 2024, siguiendo el intervalo definido en el alcance de esta investigación.
- **Tipo de documento:**
 - o Se restringió la búsqueda a artículos científicos (Article), lo cual asegura la validez metodológica de los datos obtenidos. Total: 165 artículos.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - o Todos los documentos seleccionados son de acceso abierto, facilitando su descarga completa, análisis y verificación.
- **Otros criterios relevantes:**
 - o *Early Access*: 1 artículo se encontraba disponible como acceso anticipado, mostrando que el tema mantiene alta actualidad científica.



- *Enriched Cited References*: 122 artículos cuentan con referencias enriquecidas, útiles para análisis de co-citación y redes de colaboración científica.
- *Idioma*: Todos los artículos están publicados en inglés, lo cual mejora su visibilidad y pertinencia internacional.
- **Autores destacados:**
Entre los autores con mayor número de publicaciones sobre este tema destacan *Xuning Feng, Paul Shearing, Allen Lee y Andreas Jossen*, cuyas investigaciones abordan aspectos como la predicción de eventos de fuga térmica, sensores inteligentes de seguridad y diseño de baterías resistentes a condiciones extremas.
- **Resultado final exportable:**
Se obtuvo un total de 165 artículos científicos, todos en acceso abierto, que contribuyen significativamente a la caracterización técnica de la seguridad térmica de las baterías comerciales utilizadas en vehículos eléctricos.

13. Battery cost AND electric vehicles

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se limitó la búsqueda a publicaciones realizadas entre los años 2005 y 2024, en coherencia con el intervalo de tiempo definido en el alcance del estudio.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos (Article), alcanzando un total de 609 publicaciones, con lo cual se asegura el cumplimiento de estándares académicos rigurosos.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - Todos los documentos filtrados son de acceso abierto, garantizando su disponibilidad total para análisis, lectura y exportación.
- **Otros filtros relevantes:**
 - *Early Access*: Se identificaron 5 artículos disponibles en acceso anticipado, lo cual indica que el tema continúa siendo de alta relevancia e investigación reciente.
 - *Enriched Cited References*: 351 artículos cuentan con referencias enriquecidas, ideales para un análisis de redes de citación y evolución bibliométrica.
 - *Idioma*: Todos los artículos están escritos en inglés, lo que garantiza su pertinencia en el ámbito científico global.
- **Autores destacados:**
Entre los autores más relevantes en este campo figuran *Taha Selim Ustun, Sudhakar Babu Thanikanti, Subhojit Dawn, Christian Breyer y Richard Wills*, quienes han contribuido activamente al estudio de los modelos de costos, estrategias de reducción de precios y políticas de incentivo económico para la adopción de baterías en el transporte eléctrico.
- **Resultado final exportable:**
El conjunto final incluye 609 artículos científicos en acceso abierto, representando un volumen suficiente para caracterizar las principales aproximaciones



académicas sobre la relación entre costo de las baterías y la implementación de vehículos eléctricos.

14. Battery recycling AND lithium-ion

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se acotó la búsqueda a documentos publicados entre los años 2005 y 2024, alineado con el período establecido en el alcance metodológico del estudio.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos (Article), logrando una muestra final de 291 publicaciones, lo cual garantiza la relevancia académica y la validez técnica del contenido recopilado.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - Todos los documentos filtrados son de acceso abierto, permitiendo su análisis directo, lectura sin restricciones y exportación para tratamiento bibliométrico posterior.
- **Otros filtros destacados:**
 - *Early Access:* Se identificaron 3 artículos en acceso anticipado, lo que refleja un interés investigativo creciente y activo en esta área específica.
 - *Enriched Cited References:* 179 artículos incluyen referencias enriquecidas, lo cual es altamente útil para construir mapas de co-citación y análisis de influencia bibliográfica.
 - *Idioma:* La totalidad de los artículos está redactada en inglés, consolidando la cobertura científica internacional del tema.
- **Autores más citados:**

Entre los principales investigadores que lideran los estudios en reciclaje de baterías de litio se destacan *Bernd Friedrich, Rodrigo I. Serna-Guerrero, Mari Lundström, Urs A. Peuker y Benjamin P. Wilson*, quienes han contribuido con aportes significativos en recuperación de cátodos, eficiencia de procesos hidrometalúrgicos y modelos sostenibles de reciclaje.
- **Resultado final exportable:**

Se obtuvieron 291 documentos científicos relevantes y en acceso abierto, los cuales representan una base sólida para explorar las estrategias tecnológicas y medioambientales relacionadas con el reciclaje de baterías de ion de litio.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se estableció el periodo 2005–2024, tal como se define en el alcance temporal de esta investigación. Esto asegura una revisión actualizada y contextualizada en los últimos avances.
- **Tipo de documento:**
 - Se limitó la búsqueda a artículos científicos (Article), obteniendo un total de 91 documentos. Esta decisión responde al objetivo de asegurar el rigor académico y la pertinencia científica de los datos recopilados.
- **Acceso abierto (Open Access):**



- La totalidad de los documentos se encuentra en acceso abierto, lo cual facilita su procesamiento, análisis y posterior citación en el estudio.
- **Otras características relevantes:**
 - *Enriched Cited References:* 54 documentos contienen referencias bibliográficas enriquecidas, útiles para el análisis de co-citación e identificación de redes temáticas.
 - *Open publisher-invited reviews:* Se identificaron 3 revisiones invitadas por editores, lo que indica un nivel avanzado de interés académico sobre la temática.
 - *Idioma:* Todos los artículos están publicados en inglés, garantizando así su alcance y visibilidad científica internacional.
- **Investigadores destacados:**
Entre los autores más prolíficos en esta temática se encuentran *Kang Qi, Wenjie Xiao, Yang Liu, Changzhou Yuan y Jian Wang*, quienes han contribuido con estudios orientados al diseño de materiales para cátodos, la optimización de los ciclos de carga/descarga y la exploración de aplicaciones prácticas en movilidad eléctrica y almacenamiento estacionario.
- **Resultado final exportable:**
El filtrado permitió reducir la base documental a 91 artículos científicos relevantes, centrados en las aplicaciones actuales y potenciales de las baterías de litio-azufre

16. Aluminum-air battery AND mobility

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se estableció el intervalo 2005–2024, en coherencia con el alcance metodológico definido para esta investigación. Los artículos recuperados datan del año 2015 hasta el más reciente en 2024.
- **Tipo de documento:**
 - Se consideraron artículos científicos (Article) y ponencias de conferencias (Proceeding Paper), con un total de 5 documentos filtrados. Esto permitió integrar tanto investigaciones académicas revisadas por pares como contribuciones técnicas recientes en congresos.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - 3 de los 5 documentos están disponibles en acceso abierto, lo que asegura su inclusión en el análisis documental y permite su descarga directa para posterior evaluación.
- **Idioma:**
 - Todos los artículos se encuentran redactados en inglés, lo cual garantiza su pertinencia científica y su alcance global.
- **Otros filtros relevantes:**
 - Se identificó 1 artículo de revisión (Review Article), lo que representa un valioso resumen del estado del arte y de las oportunidades de investigación sobre esta tecnología emergente.
 - No se aplicaron filtros adicionales por institución, país, patrocinador o revista específica, dado el volumen reducido de resultados.
- **Autores destacados:**



Los investigadores más citados en este tema son *Leung, Dennis Y.C., Xuan, Jin, y Chen, Bin-Bin*, quienes han trabajado en el análisis de eficiencia energética y viabilidad operativa de las baterías de aluminio-aire en escenarios de transporte urbano.

- **Resultado final exportable:**

El filtrado arrojó un conjunto muy reducido pero relevante de 5 documentos, que abordan los aspectos fundamentales del uso de baterías Al-air en el contexto de la movilidad eléctrica. Esta tecnología, si bien aún se encuentra en fase experimental, se perfila como una alternativa viable en contextos donde el peso y la autonomía son factores críticos, como en drones, vehículos livianos o aplicaciones militares.

17. Fast charging AND Li-ion battery

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**

- Se estableció el intervalo de búsqueda entre 2005 y 2024, en conformidad con el alcance definido para esta investigación. Todos los artículos recuperados fueron publicados dentro de ese rango.

- **Tipo de documento:**

- Se seleccionó únicamente el filtro "Article", con lo que se obtuvieron 116 artículos científicos, asegurando así que los documentos incluidos hayan sido revisados por pares y cumplan con criterios de rigurosidad académica.

- **Acceso abierto:**

- 116 artículos están disponibles en acceso abierto, lo que garantiza que pueden ser consultados y analizados libremente, facilitando su integración en el análisis bibliométrico posterior.

- **Idioma:**

- Todos los documentos fueron publicados en inglés, lo que permite acceder a literatura con mayor visibilidad, cobertura internacional y alto impacto.

- **Otros filtros relevantes:**

- Se recuperaron también documentos con acceso anticipado (Early Access), identificando 3 publicaciones recientes, lo que aporta una visión actualizada del estado de la tecnología.
- También se identificaron autores destacados, como *Grey, Clare P., Park, Bo Keun, y Wang, Jian*, quienes son recurrentes en investigaciones sobre la química de baterías y soluciones para la optimización del proceso de carga.

- **Resultado final exportable:**

La búsqueda arrojó un total de 116 publicaciones científicas en acceso abierto, filtradas por criterios de calidad, actualidad y relevancia técnica

18. Energy storage AND battery degradation

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**

- La búsqueda se restringió al intervalo comprendido entre los años 2005 y 2024, coherente con el alcance metodológico definido en esta tesis.

- **Tipo de documento:**



- Se aplicó el filtro "Article", seleccionando únicamente publicaciones científicas revisadas por pares. Como resultado, se obtuvieron 303 artículos, garantizando alta calidad académica y relevancia científica.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - Se recuperaron 303 artículos en acceso abierto, lo que permite su análisis completo sin restricciones de suscripción. Esto facilita la trazabilidad, revisión y comparación durante el proceso bibliométrico.
- **Idioma:**
 - Todos los artículos están disponibles en **inglés**, alineándose con la estrategia de recolección centrada en literatura científica de alto impacto y visibilidad internacional.
- **Otros filtros complementarios:**
 - Se identificaron 2 artículos clasificados como "Early Access", lo cual indica contenido muy reciente aún en fase de edición final, pero relevante por su novedad.
 - Se encontraron 3 documentos publicados como "Data Papers", lo que indica que contienen bases de datos o conjuntos experimentales asociados a la degradación y gestión del almacenamiento energético.
 - Se destacan algunos autores recurrentes como *Rory Monaghan*, *Maeve C. Duffy*, y *Mostafa Rezaeimozafer*, cuyas investigaciones se enfocan en la optimización del ciclo de vida de baterías y análisis de eficiencia bajo distintas condiciones operativas.
- **Resultado final exportable:**

El proceso de búsqueda y filtrado permitió consolidar un conjunto de 303 artículos científicos en acceso abierto que abordan directamente la interacción entre los sistemas de almacenamiento energético y los factores que inciden en la degradación de baterías.

19. Commercial battery AND vehicle

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - La búsqueda se restringió al período de 2005 a 2024, en concordancia con el marco temporal definido en el alcance del presente estudio de titulación.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos ("Article"), con un total de 109 publicaciones. Este filtro garantiza la inclusión de material evaluado por pares y de alta calidad metodológica.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - Todos los documentos encontrados (109 artículos) están disponibles en acceso abierto, lo cual favorece su lectura, análisis bibliométrico y citación sin restricciones de pago o suscripción.
- **Idioma:**
 - La totalidad de los artículos están redactados en inglés, reforzando la estrategia de cobertura internacional adoptada para el estudio, con el objetivo de mantener la rigurosidad académica y comparabilidad internacional.



- **Otros filtros complementarios:**
 - Dentro de los documentos identificados, 2 publicaciones fueron clasificadas como "Early Access", lo que refleja el carácter reciente y actualizado de los contenidos abordados.
 - Se destaca la participación frecuente de autores como *Christian Ellersdorfer*, *Somi Roh*, y *Sudhakar Babu Thanikanti*, cuyas contribuciones científicas están relacionadas con la evaluación técnico-económica de baterías en flotas de transporte, movilidad urbana y la optimización del ciclo de vida de baterías comerciales.

- **Resultado final exportable:**

El resultado de esta búsqueda filtrada dio lugar a 109 artículos científicos relevantes y disponibles en acceso abierto, los cuales representan una base sólida para analizar el estado actual de desarrollo, implementación, retos y perspectivas del uso de baterías comerciales en el sector vehicular eléctrico

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:**
 - Se delimitó la búsqueda al período comprendido entre 2005 y 2024, conforme al alcance temporal del presente trabajo de titulación.
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron exclusivamente artículos científicos ("Article"), asegurando la validez científica, el rigor metodológico y la aplicabilidad técnica de la información obtenida.
- **Acceso abierto (Open Access):**
 - Los 8 artículos recuperados están disponibles en acceso abierto, lo cual facilita su consulta, análisis bibliométrico y uso en futuras referencias sin barreras editoriales.
- **Idioma:**
 - La totalidad de los documentos está publicada en idioma inglés, lo que contribuye a una mayor visibilidad y calidad en la difusión de los hallazgos científicos dentro de la comunidad internacional.
- **Otros elementos destacados:**
 - Aunque el número de resultados fue limitado (n=8), los artículos recuperados ofrecen un enfoque técnico profundo. Entre los autores destacados se encuentran *Daniel T. Gladwin*, *Alzenira da Rosa Abaide* y *Jordan Passinato Sausen*, cuyas investigaciones se centran en la arquitectura y optimización energética de baterías aplicadas a sistemas de movilidad eléctrica.
- **Resultado final exportable:**

La búsqueda resultó en 8 artículos científicos especializados, los cuales representan una contribución valiosa y específica para el análisis técnico de baterías eléctricas en el contexto automotriz.



Después de buscar en las bases de datos Scopus y Web of Science, también se consultó en IEEE Xplore, que es muy conocido en el mundo científico y técnico, especialmente en áreas como ingeniería eléctrica, electrónica, sistemas de energía y tecnologías relacionadas. Esta plataforma es muy útil para estudios sobre baterías para vehículos eléctricos porque contiene artículos de conferencias, revistas importantes y estándares técnicos que se usan mucho en la industria automotriz.

Para mayor seguridad de que los resultados fueran relevantes y de buena calidad, se utilizó una técnica que junta diferentes comandos, combinando conceptos clave con operadores como AND y OR. Esta técnica ayudó a conseguir resultados más precisos y a no superar el límite de 1.000 documentos por búsqueda que tiene IEEE Xplore. De esta forma, se filtró mejor los artículos útiles para este análisis sin que la cantidad fuera demasiado grande para manejar.

Con esta metodología, se logró recopilar de manera eficiente la literatura científica sobre la caracterización de baterías comerciales en el sector de movilidad eléctrica. En la siguiente sección, se presentan los comandos combinados utilizados en IEEE Xplore, junto con sus filtros y el número de resultados obtenidos.

1. Li-ion battery AND energy density

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Si bien el intervalo de análisis definido en el alcance metodológico de esta investigación comprende el período 2005–2024, los resultados disponibles en IEEE Xplore para este comando específico se concentran en el período 2017–2024, debido a la disponibilidad editorial y cobertura temática en la plataforma.
→ *Resultados encontrados: 39 documentos*
- **Tipo de publicación:**
 - Revistas científicas (Journals): 30 documentos.
 - Artículos de conferencias (Conferences): 9 documentos.
- **Acceso** **abierto:**
Se aplicó el filtro Open Access Only, lo que garantiza que todos los artículos obtenidos estén disponibles para su consulta y descarga gratuita.
- **Títulos de publicaciones relevantes:**
 - *IEEE Access*
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics*
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology*
 - *IEEE Electrification Magazine*
 - *ITEC – IEEE Transportation Electrification Conference and Expo*
- **Temas principales según la indexación de IEEE:**
 - *Electric Vehicles* (18 documentos)
 - *Energy Density* (16 documentos)
 - *Battery Management System* (14 documentos)
 - *State of Charge* (14 documentos)
 - *Electrochemical Cell* (11 documentos)



- **Resultado final:**

Luego de aplicar los filtros avanzados, se recuperaron 39 documentos exportables que abordan de forma directa y especializada el vínculo entre la densidad energética y las baterías de ion de litio, con aplicaciones específicas en vehículos eléctricos y almacenamiento energético.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** El período de análisis definido para el estudio es 2005–2024. Sin embargo, en IEEE Xplore, los resultados disponibles para este comando específico se concentran entre los años 2017 y 2024, debido a la disponibilidad documental en acceso abierto.

→ *Resultados obtenidos: 96 documentos científicos.*

- **Tipo de publicación:**
Todos los documentos recuperados corresponden a artículos científicos publicados en revistas indexadas (96 artículos en total). No se incluyeron conferencias ni capítulos de libros.

- **Acceso abierto:**
Se activó el filtro Open Access Only, lo que permite trabajar con documentos accesibles para consulta completa.

- **Revistas relevantes:**
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (46 documentos)
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (46 documentos)
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (30 documentos)
 - *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (27 documentos)
 - *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (22 documentos)
- **Temas principales de publicación (Publication Topics):**
 - *Battery Management System* (41 artículos)
 - *Root Mean Square Error* (32)
 - *Charge Discharge Cycles* (31)
 - *Health Status* (31)
 - *Long Short-Term Memory (LSTM)* (27)

- **Resultado final:**

Con los filtros avanzados aplicados, se obtuvieron 96 artículos científicos exportables, que abordan de manera directa y técnica la degradación de las baterías de ion de litio, sus mecanismos, predicción de ciclos de vida, y su impacto en la movilidad eléctrica.

3. Li-ion battery AND safety

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se definió el período de análisis entre 2005 y 2024, en concordancia con el alcance del trabajo de titulación. No obstante, en este caso los resultados recuperados se concentraron entre 2018 y 2024, reflejando la disponibilidad documental en acceso abierto y el creciente interés por esta temática



en los últimos años.

→ *Total de documentos encontrados: 12 artículos científicos.*

- **Tipo de documento:**
Solo se consideraron publicaciones indexadas en revistas científicas, cumpliendo con el filtro “Article” y Open Access Only.
- **Publicaciones destacadas:**
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (9 resultados)
 - *IEEE Transactions on Power Electronics* (6)
 - *World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)* (5)
 - *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics* (4)
 - *IEEE Transactions on Industry Applications* (4)
- **Temas técnicos principales** (Publication Topics):
 - *Thermal Runaway*
 - *Battery Management System*
 - *Short-Circuit*
 - *State of Charge*
 - *Battery Temperature*
 - Otros términos asociados: *Charge Discharge Cycles, Equivalent Circuit Model, Battery Model.*
- **Resultado final:**
La combinación de filtros avanzados con el uso del operador booleano AND permitió acotar los resultados a 12 artículos científicos altamente relevantes, los cuales analizan los mecanismos de falla térmica, la gestión electrónica de seguridad, la prevención de cortocircuitos y los retos actuales en la administración térmica de baterías Li-ion.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Filtros que se han aplicados:

- **Rango temporal:** La búsqueda se restringió entre 2005 y 2024, conforme al periodo establecido en el objetivo de esta evaluación.
→ *Resultados totales encontrados: 84 artículos académicos.*
- **Tipo de documento:**
 - Conferencias: 72 artículos.
 - Revistas científicas (journals): 8 artículos.
 - Revistas técnicas (magazines): 4 artículos.

Debido a la preferencia de IEEE Xplore por publicaciones técnicas en el área de ingeniería, una gran porción de los hallazgos proviene de actas de conferencias especializadas.
- **Conferencias importantes:**
 - *Conferencia de Poder y Propulsión de Vehículos IEEE* (varios años: 2005, 2007, 2009, 2010)
 - Conferencia IEEE sobre Vehículos Eléctricos y Híbridos.
- **Principales temas técnicos (Publication Topics):**
 - *Potencia de baterías* (24 hallazgos)
 - *Densidad energética* (24)



- Tipos de baterías (22)
- Sistemas de gestión de baterías (21)
- Sistemas de Tribridos (19)
- **Resultado final:**
Se identificaron en total 84 documentos pertinentes, que tratan cuestiones como la eficiencia energética de las baterías NiMH, la gestión térmica, su durabilidad y su integración en sistemas híbridos.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se estableció entre los años 2008 y 2024, ajustándose al período de análisis de esta investigación (2005–2024).
→ *Total de resultados encontrados: 201 documentos científicos.*
- **Tipo de documento:**
 - Conferencias: 178 documentos
 - Journals (revistas científicas): 21 documentos
 - Artículos de acceso anticipado (Early Access): 1 documento
 - Revistas técnicas (Magazines): 1 documento

Estos resultados reflejan la amplia discusión de esta tecnología en congresos de electrificación automotriz y conversión de energía.
- **Conferencias y publicaciones destacadas:**
 - *World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*
 - *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics*
 - *IEEE Transactions on Power Electronics*
 - *IEEE Access*
- **Temáticas técnicas frecuentes (Publication Topics):**
 - *Energy Storage Systems* (50 resultados)
 - *Internal Resistance* (47)
 - *Energy Density* (46)
 - *Electrochemical Cell* (41)
 - *Energy Efficiency* (39)
- **Resultado final:**
Un total de 201 documentos científicos fueron identificados como relevantes, muchos de ellos centrados en el comportamiento electroquímico, la eficiencia de carga/descarga, la estabilidad térmica y la resistencia interna de las baterías LiFePO₄.

6. Solid-state battery AND commercialization

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Aunque el período de investigación delimitado en el trabajo es de 2005 a 2024, los resultados relevantes dentro de IEEE Xplore abarcaron publicaciones entre 2017 y 2019, lo que refleja el surgimiento relativamente reciente del enfoque comercial sobre esta tecnología.
→ *Total de resultados encontrados: 5 documentos científicos.*



- **Tipo de documento:**
 - o Conferencias: 4 documentos
 - o Journal (revista científica): 1 documento
- **Conferencias y publicaciones destacadas:**
 - o *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*
 - o *2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*
 - o *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE-Berlin)*
 - o *IEEE Journal of Solid-State Circuits*
- **Temáticas técnicas recurrentes (Publication Topics):**
 - o *Solid-state batteries*
 - o *Phase-locked loop*
 - o *Temperature sensors*
 - o *Analog-to-digital converters*
 - o *Bluetooth Low Energy*
 - o *Nominal voltage characteristics*
- **Resultado final:**

Se recuperaron 5 publicaciones científicas relevantes, que, aunque limitadas en número, ofrecen una visión especializada sobre las condiciones técnicas necesarias para llevar las baterías de estado sólido al mercado, incluyendo aspectos de integración de sistemas electrónicos, gestión térmica y arquitectura de celdas

7. Sodium-ion battery AND performance

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Aunque el intervalo general de investigación está definido entre 2005–2024, en esta consulta los resultados relevantes abarcan desde 2014 hasta 2024, reflejando un crecimiento progresivo del interés por esta tecnología en los últimos 10 años.
→ *Total de documentos recuperados: 38.*
- **Tipo de documento:**
 - o Conferencias: 32 documentos
 - o Journals: 1 publicación científica
 - o Normas técnicas (Standards): 5 resultados
- **Conferencias más representativas:**
 - o *2021 9th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*
 - o *2015 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles (ESARS)*
 - o *2018 IEEE UPCON*
 - o *2014 & 2017 IRSEC*
- **Tópicos técnicos asociados (Publication Topics):**
 - o *Sodium Ions*
 - o *Energy Density*



- *State of Charge*
- *Electrochemical Performance*
- *Charge/Discharge Cycles*
- *Energy Storage Systems*
- *Battery Management Systems*
- *Positive/Negative Electrodes*
- *Electrode Materials*
- **Resultado final:**

Se obtuvieron 38 documentos que discuten ampliamente el desempeño técnico de las baterías de sodio-ion en relación con su capacidad de almacenamiento, estabilidad durante ciclos de carga-descarga, materiales de electrodos, y potencial de integración en sistemas de almacenamiento energético
- 8. Hybrid battery AND lifetime**

Filtros aplicados:

 - **Rango temporal:** Aunque el intervalo de estudio definido en el trabajo abarca desde 2005 hasta 2024, los resultados encontrados en IEEE Xplore corresponden a publicaciones entre 2016 y 2024, evidenciando un desarrollo más reciente en esta línea tecnológica.
 - *Total de documentos recuperados: 38*
 - **Tipo de documentos:**
 - Solo se consideraron journals técnicos revisados por pares, filtrados bajo la opción *Open Access Only*.
 - **Principales revistas técnicas donde se publicaron los resultados:**
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (30 artículos)
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (21 artículos)
 - *IEEE Transactions on Industry Applications* (16 artículos)
 - *IEEE Transactions on Energy Conversion* (12 artículos)
 - *IEEE Transactions on Sustainable Energy* (12 artículos)
 - **Tópicos técnicos destacados (Publication Topics):**
 - *Battery Lifetime*
 - *Energy Storage Systems*
 - *State of Charge*
 - *Electric Vehicles*
 - *Energy Management*
 - *Battery Capacity*
 - *Energy Consumption*
 - *Depth of Discharge*
 - *Battery Degradation*
 - **Resultado final:**

Los 38 documentos exportables desde IEEE Xplore proporcionan una caracterización técnica avanzada del comportamiento de las baterías híbridas a lo largo de su vida útil, considerando variables como la gestión energética, la capacidad residual, el efecto memoria y la profundidad de descarga, todos



fundamentales para evaluar el rendimiento sostenido en vehículos eléctricos e híbridos.

9. Battery efficiency AND charging

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Aunque el marco temporal de investigación abarca de 2005 a 2024, los resultados en IEEE Xplore están disponibles entre 2016 y 2024, lo que refleja el auge más reciente de investigaciones sobre carga eficiente en baterías.
→ *Total de documentos recuperados: 317*
- **Tipo de documento:**
 - Se filtraron únicamente artículos científicos (journals), bajo la modalidad de acceso abierto (*Open Access Only*), garantizando la accesibilidad y calidad de las publicaciones.
- **Publicaciones técnicas destacadas:**
 - *IEEE Transactions on Power Electronics* (212 documentos)
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (156 documentos)
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (154 documentos)
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (146 documentos)
 - *IEEE Transactions on Industry Applications* (95 documentos)
- **Tópicos principales encontrados** (Publication Topics):
 - *Wireless Charging*
 - *Battery Charging*
 - *Power Transfer*
 - *Energy Storage Systems*
 - *Battery Capacity*
 - *Electric Vehicles Charging*
 - *State of Charge*
 - *Control Strategy*
- **Resultado final:**

Los 317 artículos recuperados en esta búsqueda avanzan en el estudio de la eficiencia del proceso de carga de baterías, explorando tecnologías como la carga inalámbrica (wireless charging), el control inteligente del estado de carga (SoC) y los métodos de transferencia de potencia optimizada. Estas publicaciones son clave para analizar los retos técnicos en la implementación de infraestructura de carga rápida, así como para evaluar el comportamiento de distintas químicas de baterías en relación con su eficiencia energética.

10. Battery lifespan AND Li-ion

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Aunque el intervalo de estudio establecido es de 2005 a 2024, la base IEEE Xplore arrojó resultados dentro del período 2018–2024, reflejando un auge reciente en investigaciones específicas sobre este tema.
→ *Total de documentos obtenidos: 9*
- **Tipo de documento:**



- Se seleccionaron únicamente documentos indexados como artículos científicos (journals) en acceso abierto (*Open Access Only*), lo cual garantiza contenido verificable y actualizado.
- **Publicaciones destacadas:**
 - *IEEE Transactions on Energy Conversion*
 - *IEEE International Conference on Systems and Control (ICSC)*
 - *International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*
 - *IEEE Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*
 - *International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*
- **Tópicos principales (Publication Topics):**
 - *Electrochemical Cell*
 - *Battery Capacity*
 - *Battery Management System*
 - *State of Charge (SoC)*
 - *Health Status*
 - *Energy Management System*
 - *Long Short-term Memory (modelos predictivos)*
- **Resultado final:**

Los 9 artículos científicos recuperados mediante este comando se enfocan en el análisis del desgaste, pérdida de capacidad, degradación y gestión de la vida útil de baterías Li-ion. Además, abordan estrategias de predicción del estado de salud (SoH) utilizando técnicas de inteligencia artificial como las redes LSTM (Long Short-Term Memory), así como métodos para optimizar la eficiencia energética de los sistemas de transporte eléctrico.

11. Battery thermal management AND vehicle

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Aunque el rango general del estudio abarca el período 2005-2024, la base de datos IEEE Xplore proporcionó resultados de 2016 a 2024, un período en el que la investigación sobre gestión térmica se ha intensificado en respuesta al crecimiento del mercado de vehículos eléctricos.
→ *Total de documentos obtenidos: 72*
- **Tipo de documento:**
 - Los resultados se limitaron a artículos de revistas científicas en formato de acceso abierto, lo que garantiza la calidad y disponibilidad de los datos para su posterior análisis.
- **Publicaciones destacadas:**
 - *Transacciones IEEE sobre tecnología de vehículos*
 - *Transacciones IEEE sobre electrificación del transporte*
 - *Transacciones IEEE sobre Electrónica Industrial*
 - *Transacciones IEEE sobre tecnología de sistemas de control*
 - *Transacciones IEEE sobre electrónica de potencia*
- **Temas principales (Publication Topics):**



- *Modelo térmico*
- *Fuga térmica*
- *Sistema de gestión de baterías (BMS)*
- *Temperatura de la batería*
- *Celda electroquímica*
- *Batería para vehículos eléctricos*
- *Estado de carga (SoC)*
- **Resultado final:**

Los 72 artículos científicos recopilados se centran en modelos térmicos, prevención de fugas térmicas, diseño de sistemas de refrigeración y control de temperatura para baterías de iones de litio instaladas en vehículos eléctricos. Estos estudios proporcionan datos fundamentales para caracterizar la eficiencia térmica, la confiabilidad operativa y la estabilidad química de las baterías, particularmente en condiciones de carga rápida o ciclos de trabajo intensivos.

12. Battery safety AND thermal runaway

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se estableció el intervalo general del estudio entre 2005–2024. No obstante, los resultados relevantes en IEEE Xplore se concentraron en el periodo 2016–2024, reflejando el auge reciente en las investigaciones sobre mecanismos de seguridad térmica en sistemas de almacenamiento energético.
→ *Total de resultados obtenidos: 20 artículos científicos*
- **Tipo de documento:**
 - Se filtraron exclusivamente artículos en revistas científicas revisadas por pares (journals) y documentos en acceso abierto, asegurando así la rigurosidad metodológica y la disponibilidad del contenido.
- **Publicaciones relevantes:**
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics*
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification*
 - *IEEE Transactions on Power Electronics*
 - *IEEE Sensors Journal*
 - *2024 6th International Conference on Energy, Power and Grid (ICEPG)*
- **Tópicos asociados (Publication Topics):**
 - *Thermal Runaway*
 - *Battery Management System (BMS)*
 - *Short-circuit*
 - *Battery Temperature*
 - *Electrochemical Cell*
 - *Electric Vehicles Battery*
 - *Energy Storage Systems*
- **Resultado final:**

Los 20 artículos recopilados abordan aspectos técnicos como: el diseño de sistemas avanzados de monitoreo térmico, la detección temprana de eventos de fuga térmica, modelos predictivos de estabilidad térmica y estrategias de mitigación mediante BMS (Battery Management System). El enfoque está puesto



en mejorar la seguridad operativa de baterías Li-ion frente a condiciones de sobrecarga, fallos de celdas y cortocircuitos internos.

13. Battery cost AND electric vehicles

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se aplicó el filtro correspondiente al intervalo 2005–2024, definido en el alcance de la investigación. No obstante, los resultados relevantes en IEEE Xplore se distribuyen entre 2015 y 2024, evidenciando el auge reciente de estudios relacionados con el costo y eficiencia económica de baterías.
→ *Total de documentos obtenidos: 367 artículos científicos*
- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron únicamente artículos en revistas científicas (journals) y documentos en acceso abierto, lo cual garantiza el rigor metodológico y la accesibilidad de las publicaciones seleccionadas.
- **Publicaciones destacadas:**
 - *IEEE Transactions on Smart Grid*
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology*
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification*
 - *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*
 - *IEEE Transactions on Industry Applications*
- **Tópicos específicos filtrados (Publication Topics):**
 - *Electric Vehicles*
 - *Battery Capacity*
 - *State of Charge*
 - *Electric Vehicles Battery*
 - *Energy Storage Systems*
 - *Power Grid*
 - *Energy Management*
 - *Optimization Problem*
 - *Electric Vehicles Charging*
 - *Renewable Energy*
- **Resultado final:**

Los 367 artículos científicos recopilados mediante este comando permiten analizar con detalle la evolución de los costos de baterías en distintas plataformas de movilidad eléctrica, evaluando su impacto en el diseño de vehículos, el costo total de propiedad (TCO), la rentabilidad de la infraestructura de carga, así como su relación con el uso de fuentes renovables.

Los estudios también abordan modelos predictivos de reducción de costos con base en escalamiento industrial, políticas de subsidio, y avances tecnológicos como el uso de materiales alternativos (por ejemplo, baterías LFP o Na-ion).

14. Battery recycling AND lithium-ion

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se estableció el intervalo de búsqueda entre 2005 y 2024, conforme al alcance temporal de la investigación. No obstante, en IEEE Xplore los



resultados relevantes para esta temática comienzan a aparecer desde 2012 en adelante, reflejando un interés creciente en la última década.

→ *Total de documentos obtenidos: 4 artículos científicos*

- **Tipo de documento:**
 - Se seleccionaron únicamente documentos indexados en revistas científicas y conferencias IEEE, que contuvieran acceso abierto, para garantizar la fiabilidad y disponibilidad del contenido técnico.
- **Publicaciones relevantes:**
 - *2024 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*
 - *13th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2024)*
 - *2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)*
- **Tópicos filtrados (Publication Topics):**
 - Aunque la cantidad de artículos fue baja, los temas filtrados abordan aspectos como:
 - *Types of Batteries*
 - *Reward Function*
 - *Root Mean Square Error*
 - *Training Policy*
 - *Actuation Mechanism*
- **Resultado final:**

A pesar de que solo se recuperaron 4 documentos bajo este comando, los resultados reflejan una emergente línea de investigación dentro del ecosistema académico IEEE en torno al reciclaje y segunda vida de baterías de ion de litio, especialmente en aplicaciones vehiculares.

Los artículos discuten desafíos en la trazabilidad, eficiencia energética en procesos de desensamblaje, diseño para reciclaje y algoritmos aplicados a la clasificación automatizada de componentes internos. Además, integran metodologías de simulación, aprendizaje automático y políticas de diseño que favorecen el reciclaje seguro y eficiente de celdas Li-ion.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

Filtros usados:

- **Rango temporal:** La búsqueda se limitó al periodo 2005 a 2024 según el alcance general del estudio. Sin embargo, los resultados obtenidos por IEEE Xplore se concentran entre 2020 y 2024, lo que indica que la tecnología ha comenzado a consolidarse como una línea de investigación en los últimos cinco años.
- *Total de resultados obtenidos: 4 documentos científicos.*
- **Tipo de documento:**
 - Se incluyeron únicamente artículos de revistas científicas del IEEE, todos de acceso abierto, lo que facilita el análisis comparativo y garantiza la trazabilidad de la información.
- **Temas filtrados (Publication Topics):**



- Vehículos eléctricos
- Densidad de energía
- Alta densidad energética
- Baterías Li S
- energía específica
- **Publicaciones relevantes:**
 - Transacciones IEEE sobre Aplicaciones Industriales
 - Transacciones IEEE sobre tecnología de vehículos
 - Conferencia intersociedades del IEEE 2021 sobre fenómenos térmicos y termomecánicos en sistemas electrónicos (iTherm)
 - Simposio y Exposición Mundial de Vehículos Eléctricos 2013 (EVS27)
- **Resultados:**

Aunque el número de artículos es pequeño (sólo 4 resultados), son muy representativos y muestran un énfasis técnico cada vez mayor en la aplicación práctica de las baterías de litio-azufre, especialmente en contextos donde la alta densidad de energía es un requisito crítico.

16. Aluminum-air battery AND mobility

Filtros aplicados:

- **Rango temporal:** Se estableció el rango estándar del estudio entre 2005 y 2024, aunque en este caso solo se obtuvo un resultado correspondiente al año 2011, lo que evidencia la escasa representación de esta tecnología en la base de datos durante el periodo de análisis.
→ *Total de resultados: 1 documento científico.*
- **Tipo de documento:**
 - Se obtuvo un único resultado clasificado como ponencia de congreso, específicamente en el evento: 2011 IEEE Global Humanitarian Technology Conference.
- **Temáticas asociadas (Publication Topics):**
 - Aluminium Alloy
 - Aluminum Production
 - Bauxite
 - Building Materials
 - Construction Safety
- **Resultados:**

El resultado obtenido no cumple con los criterios específicos del análisis, por lo cual no se considera útil para la caracterización técnica ni el análisis bibliométrico central del estudio. Sin embargo, este comando evidenció la escasa presencia de investigaciones específicas sobre Al-air batteries aplicadas a la movilidad eléctrica en la base de datos IEEE Xplore. Como se recomienda en este tipo de casos, se podrían considerar futuras búsquedas en bases de datos especializadas en química aplicada o energía alternativa para complementar esta limitación.

17. Fast charging AND Li-ion battery

Filtros aplicados:



- **Rango** **temporal:**
Se aplicó el intervalo de 2005 a 2024, correspondiente al alcance temporal del presente estudio.
→ *Total de resultados: 446 documentos científicos.*
- **Tipo de documento:**
 - Conferencias: 341
 - Journals (revistas científicas): 95
 - Magazines: 7
 - Artículos Early Access: 2
 - Libros: 1
- **Temáticas principales (Publication Topics):**
 - *State Of Charge* (225 documentos)
 - *Electric Vehicles* (194 documentos)
 - *Fast Charging* (153 documentos)
 - *Battery Management System* (138 documentos)
 - *Battery Charging* (109 documentos)
- **Principales publicaciones asociadas:**
 - *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (18 documentos)
 - *IEEE Access* (10 documentos)
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (10 documentos)
 - *IEEE Transactions on Industry Applications* (8 documentos)
 - *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (7 documentos)
- **Resultados:**
La cantidad de resultados superó el límite máximo de exportación permitido por la plataforma IEEE Xplore (1,000 documentos por búsqueda), sin embargo, al mantenerse por debajo de ese umbral, los 446 documentos son exportables y analizables en su totalidad.
El conjunto documental recuperado con este comando es altamente pertinente para evaluar el avance de tecnologías de carga rápida en baterías Li-ion, y proporciona una base robusta para examinar tendencias, desafíos y soluciones técnicas actuales en el campo del transporte eléctrico.

18. Energy storage AND battery degradation

Filtros aplicados:

- **Rango** **temporal:**
Se aplicó el filtro correspondiente al intervalo de estudio: 2005 a 2024.
→ *Total de resultados recuperados: 93 documentos científicos.*
- **Tipo de documento:**
 - *Journals* (revistas científicas): 93

La búsqueda arrojó exclusivamente artículos de revistas científicas, lo cual fortalece la rigurosidad técnica de los documentos.
- **Temáticas principales (Publication Topics):**
 - *Battery Degradation*
 - *State Of Charge*
 - *Energy Storage Systems*



- *Electric Vehicles*
- *Depth Of Discharge*
- *Battery Capacity*
- *Energy Management*
- *Photovoltaic System*
- *Renewable Energy*
- *Storage Systems*
- **Principales publicaciones:**
 - *IEEE Transactions on Sustainable Energy* (45 documentos)
 - *IEEE Transactions on Smart Grid* (38 documentos)
 - *IEEE Transactions on Power Systems* (32 documentos)
 - *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (30 documentos)
 - *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (27 documentos)

- **Resultados:**

El número total de resultados (93) se encuentra muy por debajo del límite de exportación de IEEE Xplore (1,000 documentos), por lo que los datos fueron completamente exportables y analizables. Este comando permitió obtener artículos clave para entender cómo la degradación de baterías afecta el rendimiento y la confiabilidad de sistemas de almacenamiento en energías renovables y transporte eléctrico.

Los documentos recuperados son especialmente relevantes para estudiar la relación entre eficiencia energética, sostenibilidad y el ciclo de vida útil de las baterías utilizadas en aplicaciones de alto rendimiento.

19. Commercial battery AND vehicle

Filtros aplicados:

- **Rango** **temporal:**
Se aplicó el rango correspondiente al período de análisis definido en este estudio: 2005–2024.
→ *Total de documentos recuperados: 45.*
- **Tipo de documento:**
 - *Journals (Revistas científicas): 44*
 - *Early Access Articles: 1*

Todos los documentos están clasificados dentro de publicaciones científicas arbitradas.
- **Temas principales identificados (Publication Topics):**
 - *Battery Management System*
 - *Battery Charging*
 - *Battery Degradation*
 - *Unmanned Aerial Vehicles*
 - *Energy Consumption*
- **Publicaciones destacadas:**
 - *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC /*



I&CPS

Europe)

(con alta recurrencia en las ediciones 2017, 2020, 2021 y 2024)

- o *IEEE Transactions on Smart Grid* (27 artículos)

- **Resultados:**

Con un total de 45 resultados, este comando está muy por debajo del límite de exportación de IEEE Xplore (1,000 documentos), lo que permitió recopilar toda la muestra sin restricciones. Las publicaciones obtenidas son altamente relevantes para comprender el comportamiento de las baterías en vehículos comerciales, considerando aspectos como la gestión térmica, el consumo energético y el diseño de sistemas de carga eficientes.

Este conjunto de datos contribuye de forma significativa al análisis bibliométrico centrado en la viabilidad, escalabilidad y eficiencia de las tecnologías de almacenamiento de energía aplicadas a la movilidad eléctrica comercial.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

Filtros aplicados:

- **Rango**

temporal:

Se estableció el intervalo de análisis 2005–2024, correspondiente al periodo definido para el presente estudio.

→ *Total de resultados encontrados:* 9

- **Tipo**

de

documento:

Todos los artículos encontrados corresponden a publicaciones científicas indexadas:

- o *Journals:* 9 artículos

Se garantizó la inclusión de contenido técnico validado mediante revisión por pares.

- **Temas principales asociados (Publication Topics):**

- o *Renewable Energy*
- o *Battery Capacity*
- o *Charge Behavior*
- o *Charging Time*
- o *Control*

Method

Estos temas reflejan un enfoque orientado a evaluar el rendimiento operativo y la eficiencia técnica de las baterías en entornos reales de movilidad eléctrica.

- **Publicaciones destacadas:**

- o *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (8 artículos)
- o *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (5 artículos)
- o *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* (3 artículos)

- **Resultados:**

El bajo número de resultados obtenidos (9 artículos) evidencia que este comando, si bien es preciso en su enfoque, representa un nicho temático muy específico dentro de la literatura académica indexada en IEEE Xplore. No obstante, los documentos recuperados poseen un alto valor técnico para el análisis



bibliométrico, ya que se centran en parámetros cuantificables del rendimiento de baterías y su integración en sistemas vehiculares modernos.

3.3.4. Herramientas analíticas

Para examinar la información obtenida se utilizaron las siguientes herramientas bibliométricas:

- VOSviewer: Programa diseñado para crear mapas de redes científicas, eficaz para revelar las conexiones entre términos clave, autores, instituciones y países
- Microsoft Excel: herramienta utilizada para extraer y estructurar información exportada desde bases de datos.
- Mendeley/Zotero: Gestores de referencias bibliográficas para organizar las fuentes y simplificar su citación.

Los estudios incluyeron:

- Coexistencia de términos clave (para reconocer las tecnologías más utilizadas).
- Redes de colaboración (para encontrar investigadores e instituciones más comprometidos).
- Encuesta de citas (para identificar los artículos más influyentes).

3.4. Matriz de operacionalización de variables

Dentro del contexto de este estudio, la operacionalización de variables facilita la definición de los indicadores requeridos para convertir el objetivo particular en componentes perceptibles y cuantificables en el análisis bibliométrico. La variable principal de análisis es "tipo de batería comercial", la cual se detallará basándose en publicaciones científicas indexadas, teniendo en cuenta su surgimiento, progreso y uso tecnológico.

El estudio se centra en la conexión entre las tecnologías reconocidas en la literatura (ion-litio, estado sólido, LFP, NiMH, etc.) y su presencia en el ámbito científico. Para ello, se establecen indicadores que facilitan el análisis de su frecuencia de referencia, conexiones con términos esenciales, campos de uso y citación científica. Esta matriz actúa como herramienta para orientar la recopilación e interpretación de la información en el software de bibliometría, de investigación y de hojas de cálculo.

3.4.1. Variable principal

La variable principal "tipo de batería comercial" se refiere a las tecnologías de baterías utilizadas o propuestas comercialmente en el sector de la movilidad eléctrica. Su análisis bibliométrico facilitará la identificación del estado del arte,



referenciado e investigado, fundamental para reconocer las tendencias de innovación tecnológica.

3.4.2. Indicadores e instrumentos de medición

La evaluación de esta variable se realiza utilizando la frecuencia de aparición en publicaciones, investigación de palabras clave, número de referencias y enlaces temáticos en la bibliografía. Las herramientas de medición incluyen:

- VOSviewer (mapas de coincidencia de palabras)
- Excel (orden y frecuencia).

3.4.3. Matriz de operacionalización de variables

Para estructurar la recopilación de información bibliográfica y conectarla con el cumplimiento del objetivo específico 2, se utilizó la variable más importante del estudio: “tipos de baterías comerciales”. A continuación, se presenta la matriz que operacionaliza esta variable.

Tabla 6: Matriz de operacionalización de la variable “Tipo de batería comercial”

Variable principal del estudio	Indicadores	Técnica de recolección	Instrumento de análisis	Frecuencia de observación	Unidad de medida
Tipos de baterías comerciales	Tipo de tecnología (Li-ion, NiMH, LFP, etc.)	Revisión documental	Matriz Excel	Única (análisis transversal de artículos seleccionados)	Clasificación técnica
	Aplicación en vehículos eléctricos	Análisis bibliométrico	VOSviewer	Única (análisis transversal de artículos seleccionados)	Categorización
	Nivel de citación y relevancia	Análisis cuantitativo	Base de datos Scopus	Única (análisis transversal de artículos seleccionados)	Nº de publicaciones

Esta matriz permite transformar el objetivo de descripción tecnológica en una variable estructurada, medida a partir de datos confiables y tratada con rigor metodológico. A través de ella se puede analizar no solo qué tecnologías de baterías dominan en la literatura, sino también su contexto de uso, eficiencia y evolución



3.5. Procedimiento y análisis de datos

Este segmento detalla las fases metodológicas implementadas para examinar, a través de métodos bibliográficos, la bibliografía científica vinculada a los tipos de baterías comerciales utilizadas en vehículos eléctricos. Este proceso busca alcanzar el segundo objetivo específico, que establece la necesidad de detallar estas tecnologías en base a su surgimiento, frecuencia, evolución, usos y nivel de desarrollo manifestado en publicaciones académicas.

La metodología se organizó en diversas etapas sucesivas, desde la creación de ecuaciones de búsqueda, a través de la depuración y ordenación de los datos, hasta su examen a través de instrumentos especializados. Además, se proporciona una descripción detallada de las tecnologías de baterías basándose en los resultados de la bibliografía recolectada.

3.5.1. Fases del procedimiento bibliométrico aplicado al objetivo 2

El método implementado para alcanzar el objetivo de caracterizar las baterías comerciales se compuso de las siguientes etapas:

- Elaboración de ecuaciones de búsqueda: Se establecieron estrategias de búsqueda en las bases de datos escogidas (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, Latindex, Scielo), empleando combinaciones de términos clave como: “EV battery”, “commercial battery”, “Li-ion”, “NMC”, “LFP”, “solid-state”, “types of commercial batteries”, “bibliometric analysis”, “emerging battery technologies”, entre otros, utilizando operadores booleanos (AND, OR, NOT)
- Recolección de datos: Se exportaron los documentos escogidos (artículos, revisiones, tesis) en formato .CSV o .RIS, con datos pertinentes como el título, la autoría, el año de publicación, las palabras clave, el país de procedencia y el número de citas.
- Depuración y organización: Se realizaron filtraciones en los registros para suprimir duplicados, documentos no pertinentes o sin indexación. Luego, se estructuraron en hojas de cálculo (Excel) y se procedió a organizarlas.
- Procesamiento bibliométrico: Se utilizó VOSviewer para analizar los datos organizados, creando mapas de redes de coocurrencia, estudios de palabras clave, autores más productivos y tecnologías más referenciadas.
- Clasificación y síntesis: Por último, se organizaron las tecnologías de baterías en grupos significativos, reconociendo su presencia en la literatura, frecuencia, desarrollo cronológico y relación con su uso en vehículos eléctricos.

3.5.2. Caracterización bibliométrica de los tipos de baterías comerciales para vehículos eléctricos



Tras revisar la literatura y hacer un análisis bibliométrico, se identificaron distintas tecnologías de baterías que se han utilizado comercialmente en el sector automotriz eléctrico durante los últimos veinte años. Estas son:

- Baterías de ion de litio (Li-ion): La tecnología principal debido a su alta densidad energética, poco peso, buena eficiencia de carga/descarga y larga vida útil. Entre sus tipos:
 - LFP (litio ferro fosfato): Muy estables térmicamente, baratas y seguras, perfectas para coches urbanos [38].
 - NMC (níquel-manganeso-cobalto): Buena densidad energética y equilibrio térmico. Muchos fabricantes en todo el mundo las usan [29].
 - NCA (níquel-cobalto-aluminio): Más densidad energética que las NMC, pero menos estables térmicamente. Tesla las utiliza [39].
 - LMO (óxido de manganeso de litio): Descargan rápido y son seguras, aunque no duran tanto.
 - LCO (óxido de cobalto de litio): Se usan sobre todo en aparatos electrónicos, pero también en vehículos eléctricos pequeños.
- Baterías de polímero de litio (Li-Po): Más flexibles en forma y peso. Su electrolito es un gel, con más riesgo térmico, pero útiles en vehículos ligeros o pequeños.
- Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH): Muy usadas en coches híbridos como el Toyota Prius por ser fiables y fáciles de gestionar térmicamente [40].
- Baterías de plomo-ácido: Ya casi no se usan para la propulsión, pero siguen en sistemas auxiliares por ser baratas y fáciles de reciclar.
- Baterías de sodio (Na-ion): Están empezando a usarse comercialmente. Lo bueno: hay mucho sodio disponible y son más baratas para el medio ambiente. No tienen mucha densidad energética, pero prometen en aplicaciones de bajo costo [23].
- Baterías de estado sólido: Una tecnología que se está desarrollando, que cambia el electrolito líquido por uno sólido. Ofrecen más densidad energética, seguridad y vida útil. Son el futuro a corto-medio plazo en coches eléctricos [20].
- Baterías de litio-azufre (Li-S): Una tecnología nueva con mucha densidad energética teórica y bajo costo. Todavía están mejorando su ciclo de vida.
- Baterías de aluminio-aire: Interesantes por su alta densidad energética específica y poco peso. Lo malo es que no se pueden reutilizar fácilmente y reactivarlas es caro.

Análisis comparativo:



La Tabla mostrada posteriormente, presenta una caracterización comparativa de los principales tipos de baterías de vehículos eléctricos comerciales, considerando los siguientes parámetros: densidad energética, vida útil, tiempo de carga, seguridad, costo estimado, comercialización y perspectivas tecnológicas. Esta información fue recopilada y organizada en base a la revisión de literatura realizada en este estudio utilizando fuentes indexadas de bases de datos científicas de alto impacto como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, etc.

Como indican Scrosati y Garche [38], las baterías de ion de litio (Li-ion) dominan el mercado ya que ofrecen alta densidad energética y una vida útil razonablemente larga. Dentro de esta categoría, se destacan las variantes LFP, NMC y NCA por el equilibrio entre su rendimiento y seguridad. Se emplean extensivamente en vehículos eléctricos de pasajeros y de transporte público [29], [41]. Las baterías NiMH, aunque no proporcionan una mayor densidad energética, todavía están presentes en vehículos híbridos debido a su robustez y a la complejidad más simple de gestión térmica [40].

Las tecnologías emergentes, como las baterías de estado sólido y las baterías de sodio (Na-ion), han despertado el interés de la comunidad investigadora debido a sus ventajas de seguridad y costos más sostenibles económicamente. La opción es completamente accesible según Delmas [42], porque las baterías de Na-ion pueden aplicarse en el futuro debido a la gran abundancia de sodio en la corteza terrestre. Mientras tanto, Janek y Zeier [20], acentúan la promesa de las baterías de estado sólido con respecto a la densidad de energía y la estabilidad térmica.

No obstante, aunque las baterías Li-S y Al-aire aún se encuentran en etapa experimental, ofrecen perspectivas fascinantes en densidad de energía, alcanzando valores teóricos significativamente altos. Sin embargo, su vida útil limitada y la complicada recarga siguen siendo un desafío técnico en investigación [18], [43].

Tabla 7: Caracterización de los tipos de baterías para vehículos eléctricos [44],[45]

Tipo de batería	Densidad energética (Wh/kg)	Vida útil (ciclos)	Tiempo de carga	Seguridad	Costo estimado (USD/kWh)	Comercialización	Tendencia
LFP	90–160	2000–3000	Moderado	Alta	100–150	Alta	Estable
NMC	150–220	1000–2000	Rápido	Media	130–180	Alta	Alta
NCA	200–260	1000–1500	Rápido	Media	150–200	Alta	Alta



NiMH	60–120	500–1000	Lento	Alta	180–250	Media	Baja
Li-Po	150–200	800–1200	Rápido	Baja	200–250	Media	Media
Na-ion	100–150	1000–2000	Moderado	Alta	80–120	En desarrollo	Alta
Solid-State	>300	>5000	Muy rápido	Muy alta	200–400	Experimental	Muy alta
Li-S	400–600 (teórico)	<1000	Moderado	Media	100–150	Experimental	Muy alta
Al-air	1300 (teórico)	Un solo uso	Rápido	Alta	100–200	Experimental	Media

En la tabla anterior, se muestran los diferentes tipos de baterías que se identificaron a partir de un proceso de búsqueda y análisis en varias bases de datos especializadas como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y SciELO, utilizando los comandos de búsqueda que se presentaron en el apartado de técnicas de recolección. Esta descripción también cumple con el objetivo específico 2: “*Describir los tipos de baterías comerciales que se usan en vehículos eléctricos*”. La tabla es una especie de comparación que resume las tecnologías más mencionadas en los estudios científicos revisados, recoge las principales características técnicas y comerciales de cada tipo de batería, considerando aspectos como: densidad energética (Wh/kg), vida útil estimada en ciclos de carga y descarga, tiempo promedio de carga, nivel de seguridad en su uso, costo aproximado por kWh, grado de disponibilidad en el mercado y tendencias tecnológicas actuales. Los datos que aparecen aquí provienen de publicaciones científicas y fuentes académicas que se han citado anteriormente en la descripción de cada uno de los tipos de baterías.

Este resumen numérico en modo de tabla ayuda a entender claramente cuáles baterías son más importantes para usar en movilidad eléctrica. Además, será de gran ayuda para el análisis comparativo y de futuras proyecciones que se presentarán en el Capítulo 4.

3.5.3. Consideraciones éticas y transparencia en el uso de la información científica

A lo largo de todo el proceso de análisis se respetaron los principios de integridad científica, privacidad y legalidad en la utilización de los datos. No se utilizaron datos individuales y no se realizaron intervenciones con organismos vivos. La información se obtuvo de fuentes públicas o institucionales autorizadas, y cada fuente citada fue citada adecuadamente de acuerdo con los estándares de citas del IEEE. Además, se entiende la



importancia de meditar sobre los factores éticos del uso de tecnologías basadas en minerales esenciales como el litio y el cobalto, que tienen consecuencias sociales y ambientales en sus cadenas de suministro que deben ser consideradas en los estudios de sostenibilidad.

**CAPITULO IV****RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Con el fin de entender cuáles son las tendencias científicas y tecnologías emergentes más importantes relacionadas con el desarrollo y estudio de baterías comerciales para vehículos eléctricos, en este capítulo, se presentan los resultados del análisis bibliométrico realizado con los datos recopilados a partir de las bases de datos internacionales reconocidas como Scopus, IEEE Explore y Web of Science, junto con bases regionales como Scielo y Latindex. Si bien Latindex fue considerado una fuente útil en este trabajo debido a su enfoque en el contexto regional, no aportó resultados importantes debido a limitaciones de búsqueda. Debido a que indexa revistas enteras en lugar de artículos individuales, no era adecuado para el análisis bibliométrico cuantitativo. En su lugar, se utilizó SciELO, que permitió búsquedas más precisas y nos brindó información valiosa sobre la producción científica de la región.

En este capítulo, el procesamiento de datos tiene un enfoque gráfico y analítico, y está respaldado por una serie de información procesada sistemáticamente, exportada de cada base de datos en formato .ris y .csv siendo estos compatibles con Excel y VOSviewer. Tras descargar los archivos exportados, estos se depuraron y organizaron, después fueron graficados usando Microsoft Excel, software con el cual se generaron las gráficas necesarias para observar variables como producción anual, autores más productivos, categorías temáticas, instituciones, países, tipos de documentos, entre otros indicadores. Simultáneamente, los .ris fueron importadas en VOSviewer para realizar mapas de co-ocurrencias, coautorías y co-citaciones, que también dan otra mirada analítica para observar las conexiones entre conceptos, autores y líneas de investigación. Posteriormente todo este conjunto de gráficos elaborados en Excel y VOSviewer fue integrado en la redacción del trabajo de grado.

En este capítulo se realiza también, un análisis detallado e interpretaciones de los resultados bibliométricos obtenidos usando la combinación de comandos temáticos. Esta técnica ayudó a reducir la cantidad de resultados sin perder precisión temática. Esta estrategia fue útil para cumplir con los límites de exportación de datos que imponen cada base de datos.

Toda la información que se presenta en esta sección proviene del conjunto de datos que ya se describió en el Capítulo III. Esto es fundamental para lograr el tercer objetivo de esta investigación ‘Identificar tecnologías emergentes y tendencias de investigación en el campo de las baterías comerciales para vehículos eléctricos’. Para ello, posteriormente se lleva a cabo un análisis completo de los indicadores bibliométricos más importantes, como la producción anual de publicaciones, las revistas científicas más relevantes, los autores que más han publicado, las instituciones líderes, las áreas temáticas principales, las fuentes de financiamiento, los países que aportan más y los tipos de documentos.

Todo esto se hace usando herramientas de análisis visual y cuantitativo. Gracias a esta caracterización, podemos distinguir no solo las tecnologías que ya están bien establecidas,



sino también las innovadoras y aquellas líneas de investigación con potencial de crecimiento en el campo de la movilidad eléctrica.

A continuación, se detalla el análisis gráfico y de contenido realizado en Excel y VOSviewer para cada una de las bases de datos. En esta sección se muestran las figuras, patrones y su interpretación derivada de los resultados obtenidos con los comandos temáticos en Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y SciELO.

4.1. Análisis de comandos bibliométricos en Scopus

De seguida, se empieza revisando los resultados obtenidos de la base de datos Scopus, una de las plataformas científicas más importantes y completas a nivel mundial, reconocida por su amplia cobertura e indexación de literatura científica y académica.

4.1.1. Análisis en Microsoft Excel

Para analizar la información, se utilizó gráficos elaborados en una hoja de cálculo de Excel, con los datos exportados desde la herramienta de análisis de Scopus en formato CSV. En Excel cada documento exportado corresponde a un comando específico, lo que permite comparar fácilmente los resultados y entender mejor las tendencias tanto en el ámbito tecnológico como en lo académico. Así, se puede examinar cada comando de búsqueda por separado y, después, sacar conclusiones generales sobre las áreas que están en auge. En seguida se realiza un resumen detallado de cada comando:

1. Li-ion battery AND energy density

1.1. Documentos por año



Ilustración 5: Documentos por año

Esta ilustración muestra cómo han ido creciendo las publicaciones sobre baterías de ion-litio y su densidad energética desde 2007 hasta 2024. En correspondencia con la evolución reciente de las tecnologías de baterías comerciales y en cumplimiento con el alcance definido en



este trabajo, el intervalo está dentro del rango. Lo que se puede notar claramente es un aumento constante, muy relacionado con el crecimiento de los vehículos eléctricos y la búsqueda de baterías más eficientes:

- 2007–2010: Los primeros años con menos de cinco publicaciones por año indican que todavía era una etapa en la que empezaba a despertar el interés por el tema.
- 2011–2015: El número de estudios comenzó a incrementarse, llegando a más de 20 publicaciones por año desde 2013.
- 2016–2019: la tendencia se mantuvo estable, se publicaron entre 100 y 150 artículos por año.
- 2020–2024: Interés totalmente crecido. Se registraron más de 227 y 209 publicaciones en 2023 y 2024, respectivamente, lo que demuestra cuánta atención global ha alcanzado esta tecnología tan importante.

1.2. Producción por año según revistas



Ilustración 6: Producción por año según revistas

La gráfica muestra cuáles son las revistas con más publicaciones cada año. Entre ellas, destacan títulos como Journal of Physical, Rsc Advances y Journal of The Electrochemical Society, que son las que publican más y de manera constante. Es interesante notar que varias de estas revistas crecen al mismo tiempo, lo que indica un interés que cruza disciplinas y que además tiene un alcance global. También se puede ver que la variedad de publicaciones refleja que el estudio de las baterías de iones de litio abarca áreas como química, ingeniería eléctrica, ciencia de materiales y energías renovables.

1.3. Documentos por autor

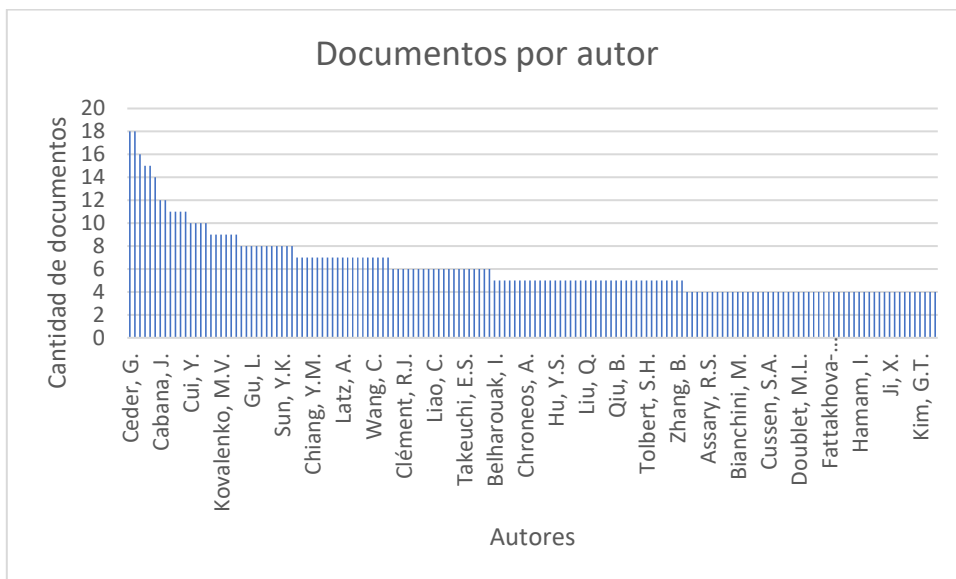


Ilustración 7: Documentos por autor

Aquí se presentan los autores que publican más sobre baterías de iones de litio. Es probable que muchos de estos autores sean de países asiáticos, como China o Corea del Sur, ya que estos países lideran en tecnología de baterías. La mayoría de las publicaciones se concentran en unos pocos autores, lo que sugiere que hay grupos de investigación ya establecidos, quizás con buen financiamiento.

1.4. Documentos por afiliación institucional

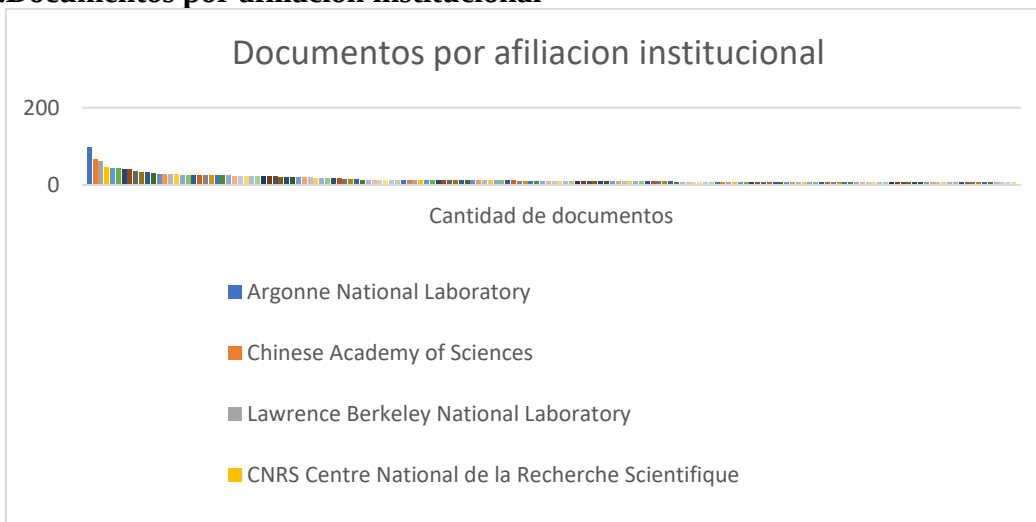


Ilustración 8: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones con mayor cantidad de publicaciones suelen ser nombres conocidos como Argonne National Laboratory, Chinese Academy of Sciences, Lawrence Berkeley National Laboratory. La mayoría de estas son instituciones asiáticas, lo que refleja cómo el desarrollo tecnológico está



muy ligado a la investigación científica en países como China, Estados Unidos, Corea y Japón.

1.5.Documentos por país o territorio



Ilustración 9: Documentos por país o territorio

La producción científica por país muestra algunas tendencias claras.

- China lidera el ranking, seguida por Canadá, Hong Kong, Turquía y Egipto.
- América Latina y África tienen una presencia mucho menor, lo que refleja una brecha en tecnología y acceso a financiamiento.

La distribución de la investigación en baterías de iones de litio sigue un patrón basado en la economía y la tecnología: los países con industrias en vehículos eléctricos son los que más producen.

1.6.Documentos por tipo



Ilustración 10: Documentos por tipo

Este diagrama muestra que la investigación con este comando la mayoría son artículos científicos, lo que muestra que hay una comunidad de investigadores activa. También hay bastantes revisiones, que sirven para resumir el estado actual del tema. Las contribuciones en conferencias reflejan avances en tiempo real en la experimentación.

1.7.Documentos por área temática

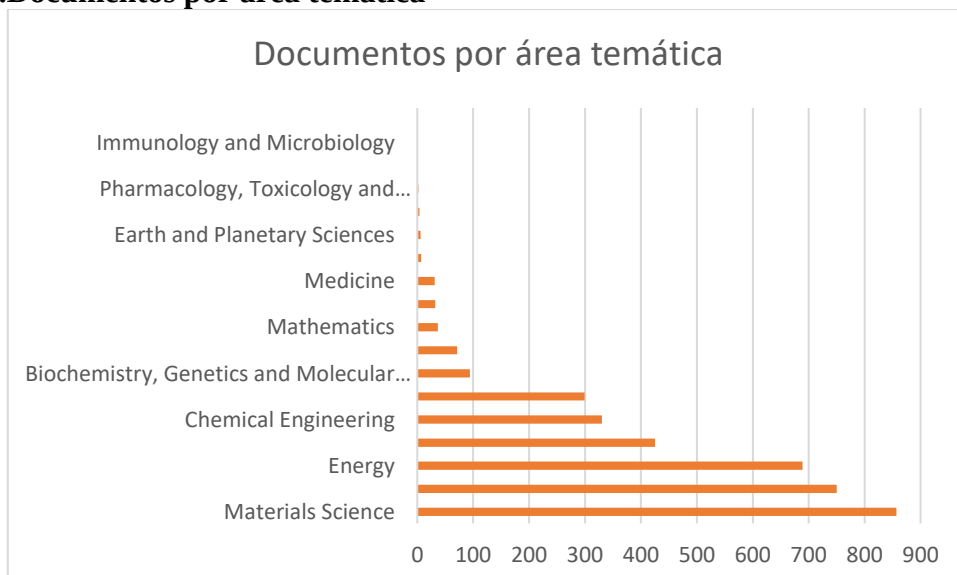


Ilustración 11: Documentos por área temática

La gráfica muestra cómo se distribuyen las publicaciones por diferentes disciplinas. Se destacan áreas como Ciencia de Materiales, Energía, Energía química y bioquímica y genética molecular. La presencia de varias



disciplinas sugiere que el tema se aborda desde diferentes perspectivas, desde crear nuevos electrolitos hasta su uso en vehículos eléctricos.

El estudio de las baterías de ion de litio no pertenece solo a un campo específico, en realidad, requiere enfoques que combinen teoría, diseño, simulación y aplicaciones en el mundo real, trabajando juntos para avanzar en la tecnología.

1.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

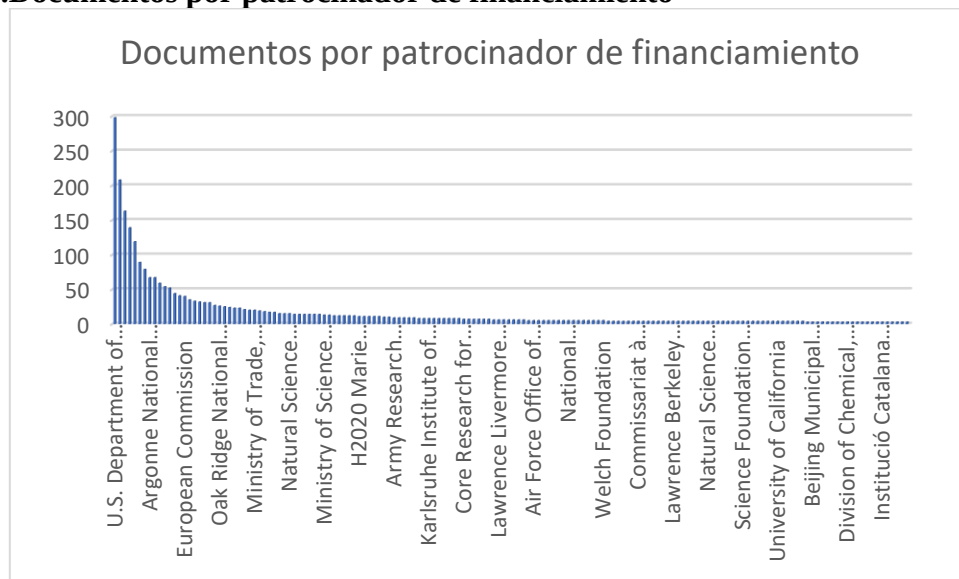


Ilustración 12: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí se presentan las principales instituciones que financian la investigación. Organismos como el U.S. Department of Energy, National Natural Science Foundation of China, Office of Science, suelen ser los principales inversionistas. Se nota un fuerte apoyo tanto del gobierno como de políticas estratégicas, lo que indica que las baterías de litio son un recurso clave para avanzar en la transición hacia energías más limpias.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

2.1. Documentos por año



Ilustración 13: Documentos por año

El desarrollo de publicaciones científicas sobre baterías de iones de litio para vehículos eléctricos entre 2005 y 2024 muestra un crecimiento que se ha incrementado de forma continua y estratégica.

- En los primeros años, de 2005 a 2010, la cantidad de investigaciones fue muy baja, sólo de 1 a 9 publicaciones por año, lo que demuestra que el interés por el tema aún está surgiendo.
- Luego, de 2011 a 2015, experimentamos un cambio significativo, con un crecimiento de más de 20 lanzamientos al año. Esto coincidió con la popularización de modelos como el Nissan Leaf y los primeros Teslas, que pusieron las baterías en el punto de mira.
- A partir de 2016, el ritmo se aceleró aún más, alcanzando más de 100 lanzamientos por año. Y en los últimos años, especialmente entre 2021 y 2024, el número de investigaciones se ha disparado.
- Hubo más de 350 publicaciones en 2023 y más de 355 en 2024, lo que indica claramente que el tema está en el centro de las tendencias tecnológicas globales.

La forma de crecer en este campo se asemeja a una curva logística, con un punto de inflexión en 2016–2017, cuando empezó a madurar rápidamente.

2.2. Producción por año según revistas

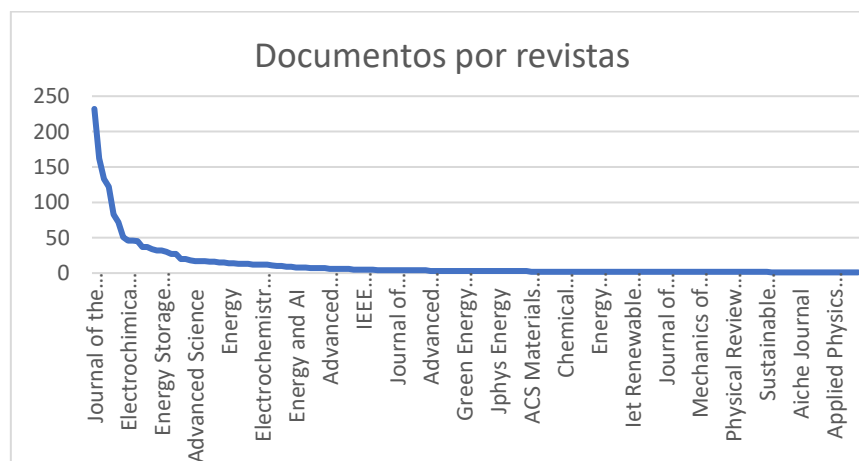


Ilustración 14: Producción por año según revistas

La gráfica muestra cuáles son las revistas con más publicaciones cada año. Entre ellas, destacan títulos como Journal of the Electrochemical Society, Journal of Power Sources y ACS Applied, que son las que publican más y de manera constante. Es interesante notar que varias de estas revistas crecen al mismo tiempo, lo que indica un interés que cruza disciplinas y que además tiene un alcance global. También se puede ver que la variedad de publicaciones refleja que el estudio de las baterías de iones de litio abarca áreas como química, ingeniería eléctrica, ciencia de materiales y energías renovables.

2.3.Documentos por autor

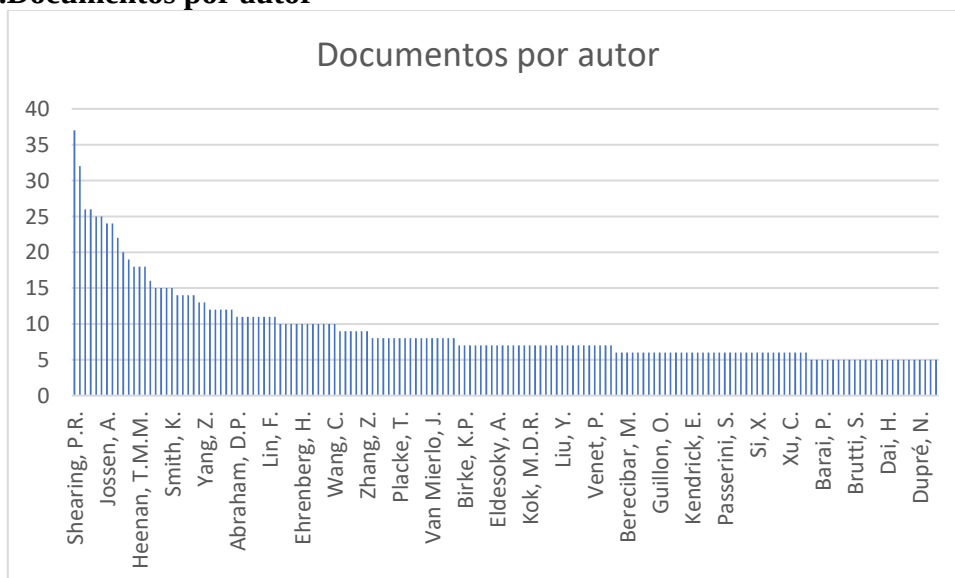


Ilustración 15: Documentos por autor

Aquí se presentan los autores que publican más sobre baterías de iones de litio. Es probable que muchos de estos autores sean de países asiáticos,



como China o Corea del Sur, ya que estos países lideran en tecnología de baterías. La mayoría de las publicaciones se concentran en unos pocos autores, lo que sugiere que hay grupos de investigación ya establecidos, quizás con buen financiamiento.

2.4. Documentos por afiliación institucional

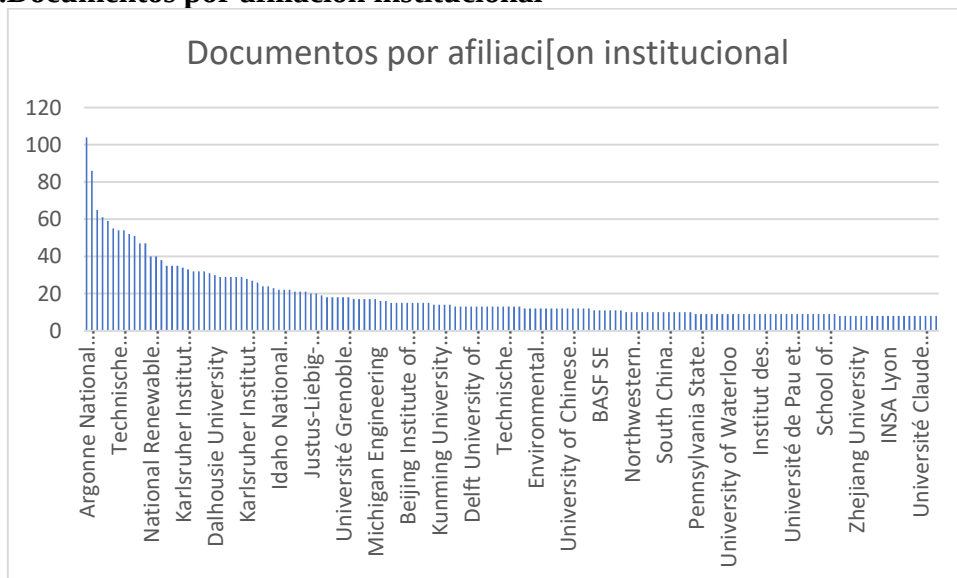


Ilustración 16: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones con mayor cantidad de publicaciones suelen ser nombres conocidos como Argonne National Laboratory, Chinese Academy of Sciences, Lawrence Berkeley National Laboratory. La mayoría de estas son instituciones asiáticas, lo que refleja cómo el desarrollo tecnológico está muy ligado a la investigación científica en países como China, Estados Unidos, Corea y Japón.

2.5. Documentos por país o territorio



Ilustración 17: Documentos por país o territorio

La producción científica por país muestra algunas tendencias claras.

- Estados Unidos lidera el ranking, seguida por Japón, Denmark, Singapore y Polonia.
- América Latina y África tienen una presencia mucho menor, lo que refleja una brecha en tecnología y acceso a financiamiento.

La distribución de la investigación en baterías de iones de litio sigue un patrón basado en la economía y la tecnología: los países con industrias en vehículos eléctricos o electrónica son los que más producen.

2.6. Documentos por tipo



Ilustración 18: Documentos por tipo

Este diagrama muestra que la investigación con este comando la mayoría son artículos científicos, lo que muestra que hay una comunidad de



investigadores activa. También hay bastantes revisiones, que sirven para resumir el estado actual del tema. Las contribuciones en conferencias reflejan avances en tiempo real en la experimentación.

2.7.Documentos por área temática

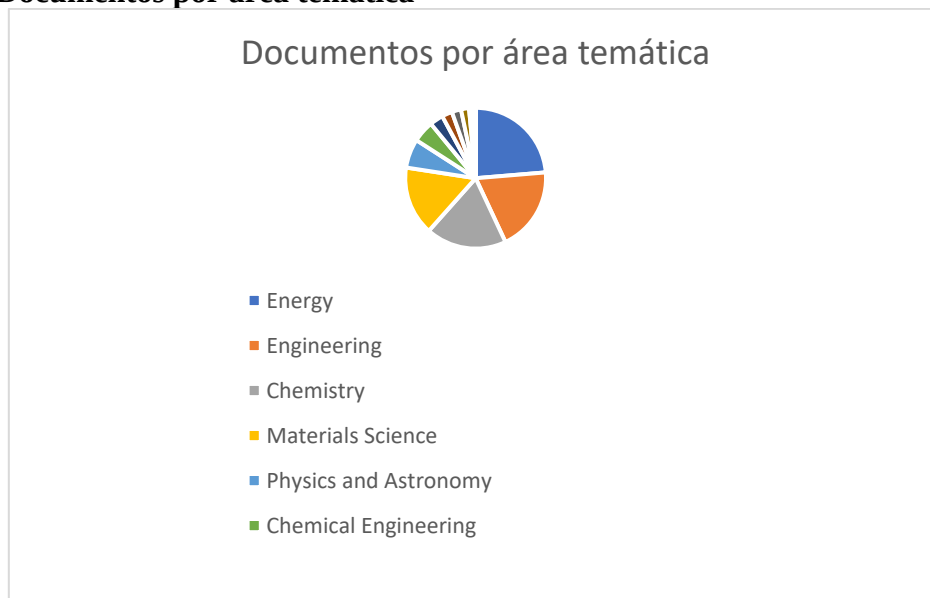


Ilustración 19: Documentos por área temática

La gráfica muestra cómo se distribuyen las publicaciones por diferentes disciplinas. Se destacan áreas como Ciencia de Materiales, Química, Ingeniería, Física y Astronomía, Energía y Energía química. La presencia de varias disciplinas sugiere que el tema se aborda desde diferentes perspectivas, desde crear nuevos electrolitos hasta su uso en vehículos eléctricos.

El estudio de las baterías de ion de litio no pertenece solo a un campo específico, en realidad, requiere enfoques que combinen teoría, diseño, simulación y aplicaciones en el mundo real, trabajando juntos para avanzar en la tecnología.

2.8.Documentos por patrocinador de financiamiento

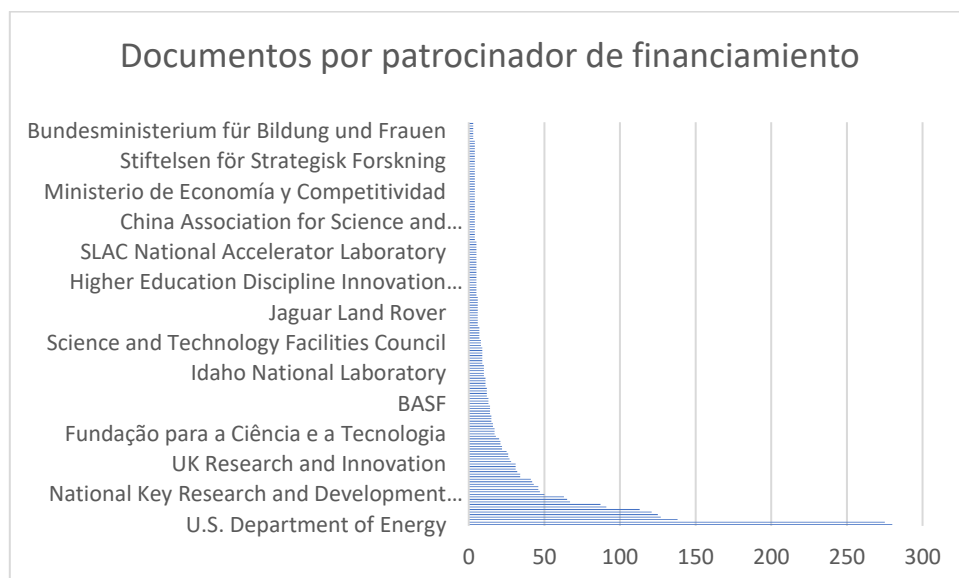


Ilustración 20: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí se presentan las principales instituciones que financian la investigación. Organismos como el U.S. Department of Energy, National Natural Science, Foundation of China, Office of Science, National Science Foundation. Se nota un fuerte apoyo tanto del gobierno como de políticas estratégicas, lo que indica que las baterías de litio son un recurso clave para avanzar en la transición hacia energías más limpias.

Los resultados dicen bastante que las políticas públicas están alineadas con las investigaciones en energía. Esto impulsa activamente el desarrollo de nuevas baterías, ayudando a impulsar el cambio hacia un futuro más sostenible.

3. Li-ion battery AND safety

3.1. Documentos por año



Ilustración 21: Documentos por año

Esta gráfica ilustra cómo ha crecido el interés en investigaciones sobre la seguridad de las baterías de ion-litio desde 2007 hasta 2024.

- Empieza con pocos estudios entre 2007 y 2012, cuando todavía no se conocían bien los riesgos del uso masivo de estas baterías.
- Luego, entre 2013 y 2016, vemos una etapa de transición en la que el número de publicaciones empezó a subir, llegando a más de 30 en 2016.
- De 2017 a 2020, el interés científico se fortaleció con más de 80 publicaciones por año, cuando también aumentó la preocupación por incidentes como incendios y explosiones.
- Finalmente, el aumento fue aún mayor entre 2021 y 2024, con más de 115 artículos publicados en 2024, lo que muestra los esfuerzos continuos en todo el mundo para mejorar la seguridad de las baterías, particularmente para su uso en vehículos eléctricos, almacenamiento de energía y dispositivos móviles.

3.2. Producción por año según revistas

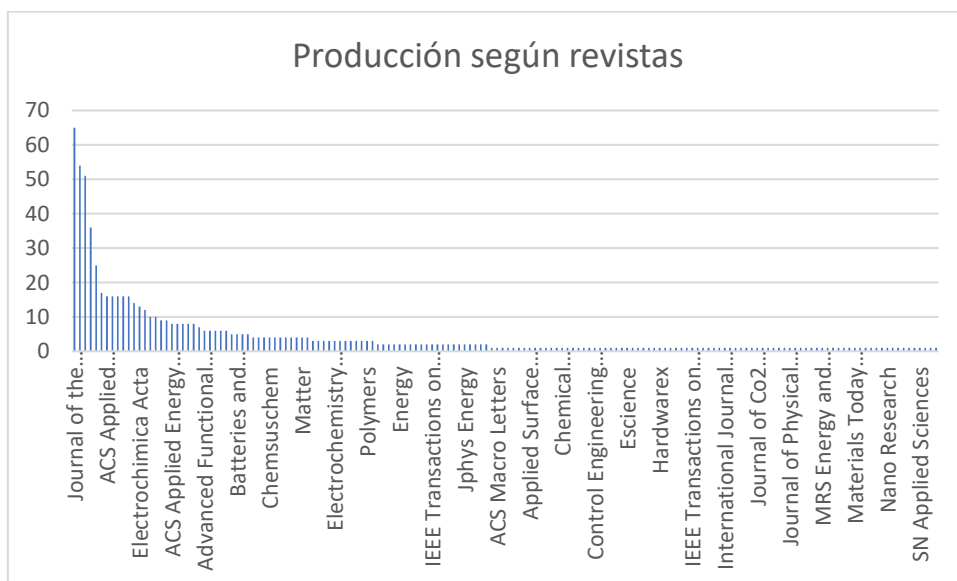


Ilustración 22: Producción por año según revistas

Aquí se puede ver las principales revistas que han publicado sobre este tema en los últimos años. La variedad de publicaciones es mayor que en el caso de las baterías de iones de litio, e incluye desde revistas enfocadas en ciencia de materiales hasta publicaciones de ingeniería aplicada. Algunos de los títulos que aparecen con frecuencia son Journal of the Electrochemical Society, Journal of Power Sources, Batteries, Energies, Journal of Energy Storage.

Esto da una idea clara: el tema de la “Batería de iones de litio y seguridad” es bastante amplio y se aplica en diferentes áreas, como estudios de mercado, producción industrial, ciclos de vida, costos y rendimiento.

3.3.Documentos por autor

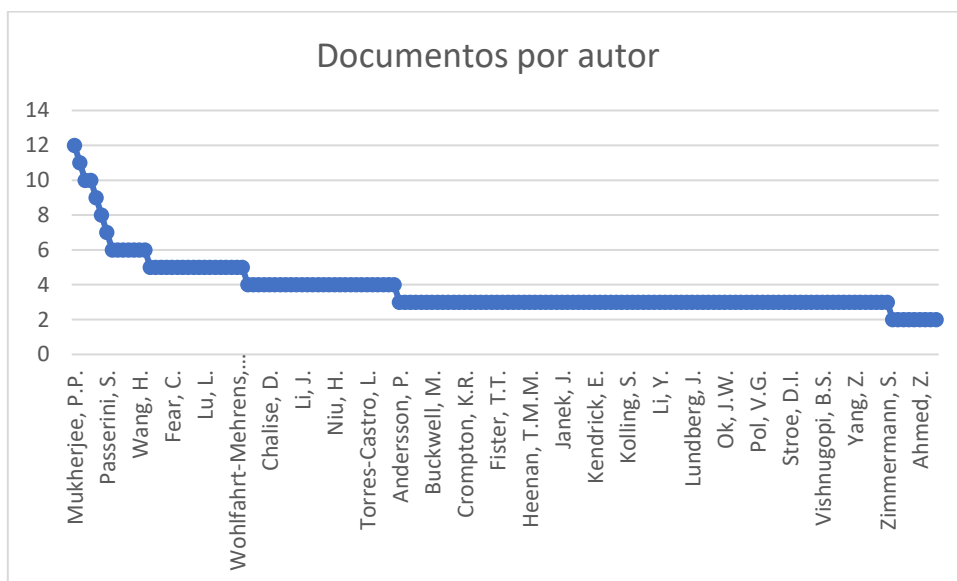


Ilustración 23: Documentos por autor

Cuando miramos quiénes están más activos publicando sobre el tema de las “Batería de iones de litio y seguridad”, se pueden encontrar con algunas diferencias importantes en comparación con el área de las ‘baterías de litio’. En este caso, no hay unos pocos investigadores dominando la escena; en cambio, varios nombres aparecen vinculados a estudios que involucran diferentes disciplinas. Muchos de estos investigadores trabajan en empresas o en áreas de política energética.

Esto indica que el tema es bastante colaborativo y está en constante evolución, con diferentes actores investigando aspectos específicos como los costos, cuánto duran o qué tan viable es llevar estas baterías al mercado.

3.4.Documentos por afiliación institucional

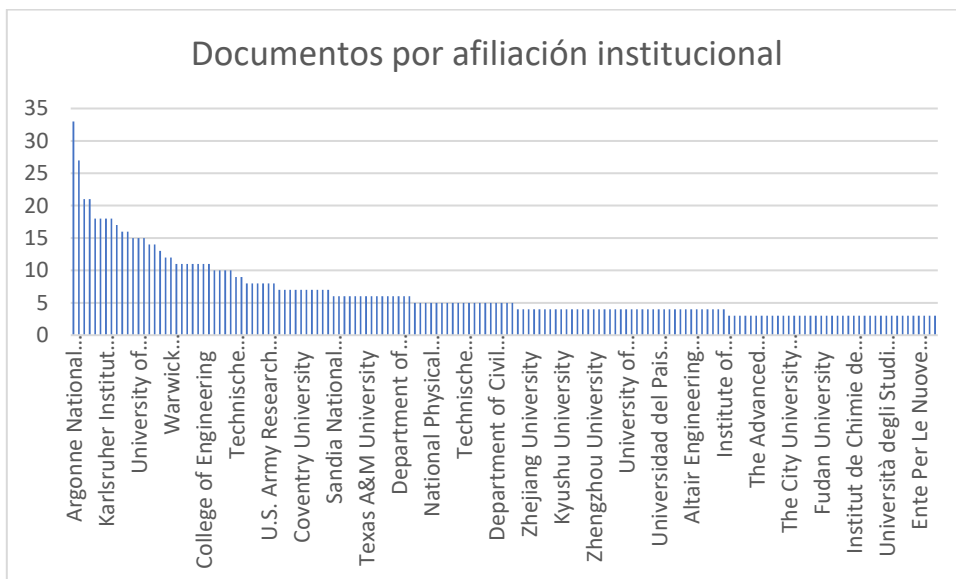


Ilustración 24: Documentos por afiliación institucional

Aquí se puede ver cuáles son las instituciones que más participan en el estudio de las baterías comerciales. Por lo general, son universidades técnicas, centros de energía y, tal vez, laboratorios de investigación industrial. Muchas de estas publicaciones probablemente salen de proyectos en colaboración entre universidades y empresas.

3.5. Documentos por país o territorio

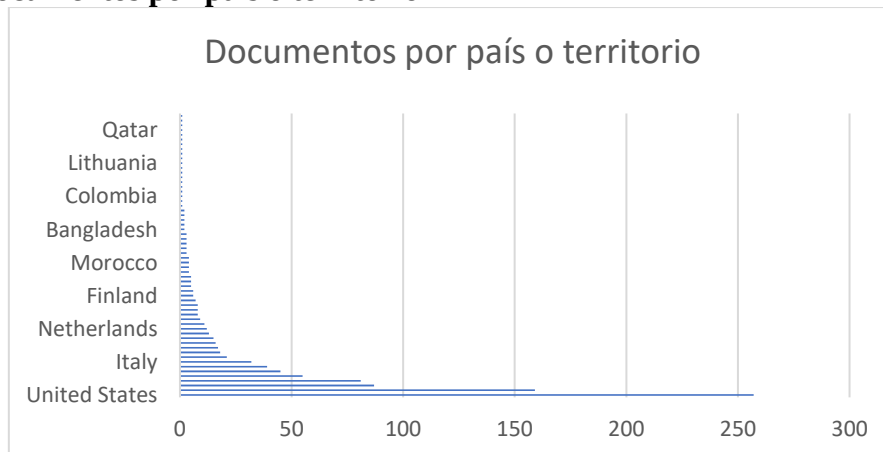


Ilustración 25: Documentos por país o territorio

Aquí la ilustración trata sobre qué países aportan más en este tema. Como en ejemplos anteriores, Estados Unidos, Italia, Finlandia lideran con diferencia. Sin embargo, también hay países en auge, como Marroco o Bangladesh, que tienen industrias muy fuertes en el ensamblaje de vehículos eléctricos. Para entenderlo mejor, hay que saber que la investigación sobre baterías comerciales suele estar muy vinculada a economías que tienen una



cadena de valor industrial muy desarrollada, desde la fabricación hasta la integración final.

3.6.Documentos por tipo

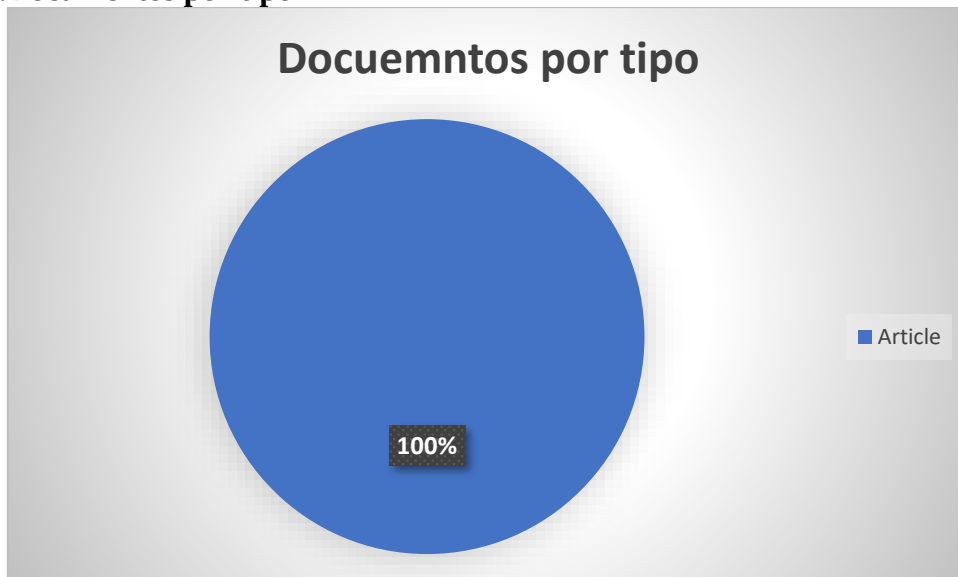


Ilustración 26: Documentos por tipo

- La mayoría son artículos científicos, con algo de participación en conferencias.
- Las revisiones son menos comunes, lo que indica que el campo es más técnico y especializado, menos enfocado en temas transversales o estrategias generales.

La producción académica se caracteriza principalmente por ser de tipo técnico y científico, enfocada en mejoras concretas y específicas. No parece centrarse en innovaciones radicales o cambios disruptivos, sino en perfeccionamientos y avances en áreas concretas.

3.7.Documentos por área temática

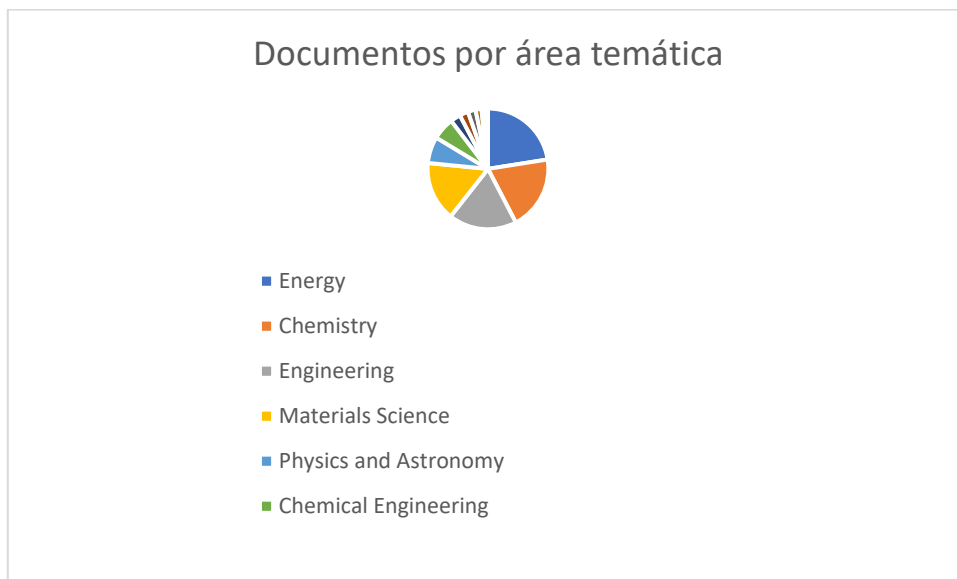


Ilustración 27: Documentos por área temática

Aquí se muestran las principales áreas de investigación en el tema. Se destacan especialmente: ingeniería, energía, ciencia de materiales, química y física. También puede haber participación de científicos en ciencias ambientales, principalmente para analizar el impacto del uso masivo de estas tecnologías.

Este campo es multidisciplinario y no solo busca que las baterías sean más eficientes, sino que también sean viables desde el punto de vista económico, ecológico y logístico.

3.8. Documentos por patrocinador de financiamiento



Ilustración 28: Documentos por patrocinador de financiamiento



Aquí se tiene las entidades que más financian investigaciones en este campo. Los principales patrocinadores suelen ser, por lo general, organismos gubernamentales como el DOE o la Unión Europea, además de empresas privadas que están interesadas en el uso práctico de las baterías. La presencia de fondos de la industria muestra que hay un fuerte interés en obtener resultados que se puedan aplicar en la vida real.

El estudio de las baterías comerciales está muy ligado tanto a los avances tecnológicos como a las metas comerciales. Esto explica por qué las empresas y sectores productivos participan tanto en el desarrollo de estas investigaciones, buscando soluciones que puedan convertirse en productos reales y viables en el mercado.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

4.1.Documentos por año



Ilustración 29: Documentos por año

La cantidad de publicaciones científicas sobre baterías de hidruro metálico de níquel (NiMH) relacionadas con vehículos eléctricos entre 2005 y 2024 ha sido bastante estable y moderate, especialmente cuando la comparamos con otras tecnologías más nuevas.

- Por ejemplo, en los primeros años, entre 2005 y 2010, las investigaciones eran muy escasas, con apenas un documento por año en 2005 y 2007, lo cual muestra que estas baterías no estaban muy en el centro de atención en ese momento.
- Después, de 2011 a 2020, el número de estudios se mantuvo bajo con un ligero aumento, pero no más de cuatro artículos cada año. Aunque estas baterías se utilizaron ampliamente en modelos híbridos como el Toyota Prius, la mayor parte de las investigaciones se centraron en otras tecnologías emergentes.
- Últimamente, de 2021 a 2024, el interés en el tema sigue siendo mínimo, con algunos números cada año. Esto indica que, aunque las baterías de NiMH todavía están presentes en algunos vehículos híbridos, ya no son un área importante para nuevas mejoras en la movilidad eléctrica.



4.2. Producción por año según revistas

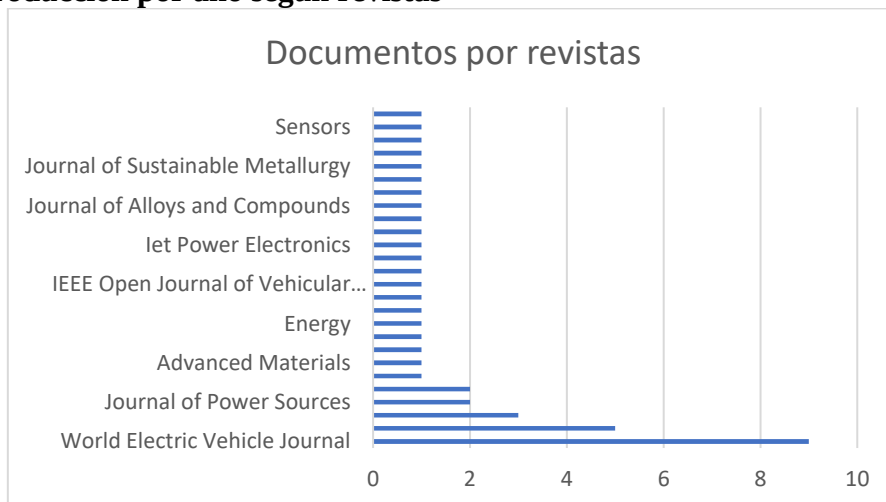


Ilustración 30: Producción por año según revistas

Aquí se puede ver las principales revistas que han publicado sobre este tema en los últimos años. La variedad de publicaciones es mayor que en el caso de las baterías de iones de litio, e incluye desde revistas enfocadas en ciencia de materiales hasta publicaciones de ingeniería aplicada. Algunos de los títulos que aparecen con frecuencia son Journal of the Electrochemical Society, Journal of Power Sources, Batteries, Energies, Journal of Energy Storage.

Esto da una idea clara: el tema de la “Batería de iones de litio y seguridad” es bastante amplio y se aplica en diferentes áreas, como estudios de mercado, producción industrial, ciclos de vida, costos y rendimiento.

4.3. Documentos por autor

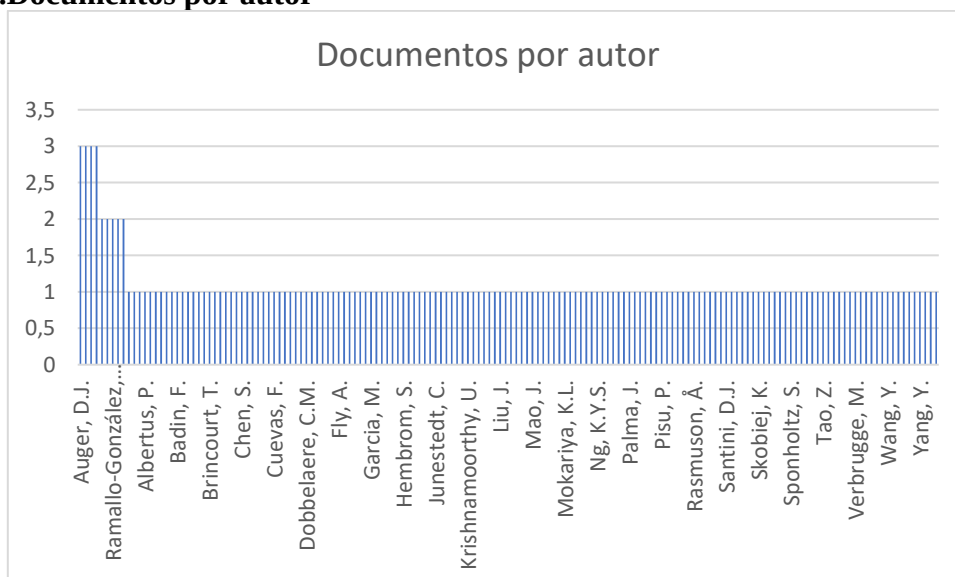


Ilustración 31: Documentos por autor



Aquí hay una lista de los autores más activos en publicaciones sobre NiMH. La mayoría son investigadores que llevan décadas trabajando con esta tecnología. Algunos de ellos están vinculados a institutos especializados en metales raros, hidruros o temas militares.

4.4. Documentos por afiliación institucional

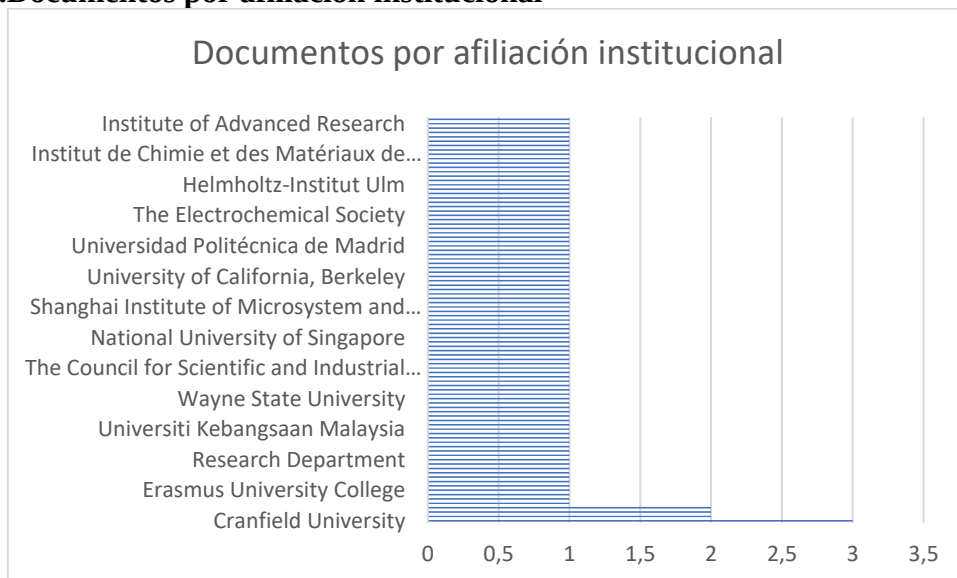


Ilustración 32: Documentos por afiliación institucional

Aquí se muestra qué instituciones han realizado más investigaciones sobre las baterías NiMH. Algunas son universidades técnicas y centros de materiales en Asia y Europa del Este. Además, también aparecen laboratorios de defensa, ya que el NiMH tiene usos en equipos militares, submarinos y dispositivos médicos.

Esto nos indica que la tecnología se desarrolla principalmente en entornos específicos de la industria, más que en el mercado automotriz de vanguardia.

4.5. Documentos por país o territorio

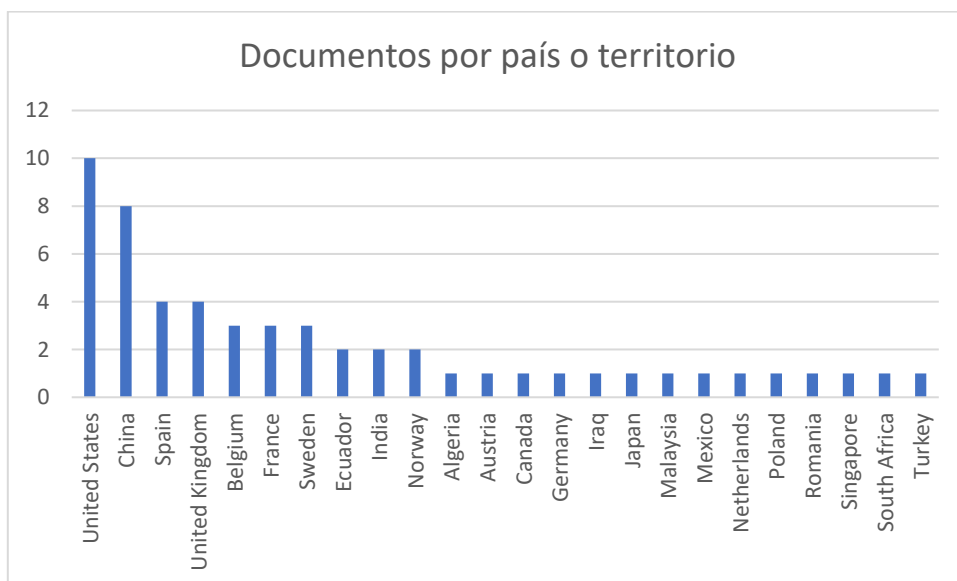


Ilustración 33: Documentos por país o territorio

Aquí tienes una lista de los países que tienen más publicaciones sobre esta tecnología. China y Estados Unidos son los líderes históricos, ya que fueron de los primeros en usarla en vehículos híbridos, como Toyota y Honda. España también juega un papel importante, especialmente en la fabricación masiva de baterías para almacenamiento estacionario y bicicletas eléctricas.

El liderazgo en las baterías NiMH se relaciona con su historia en la tecnología. Aunque ya no tienen tanto protagonismo, algunos países todavía mantienen su interés por motivos económicos, industriales o estratégicos.

4.6. Documentos por tipo

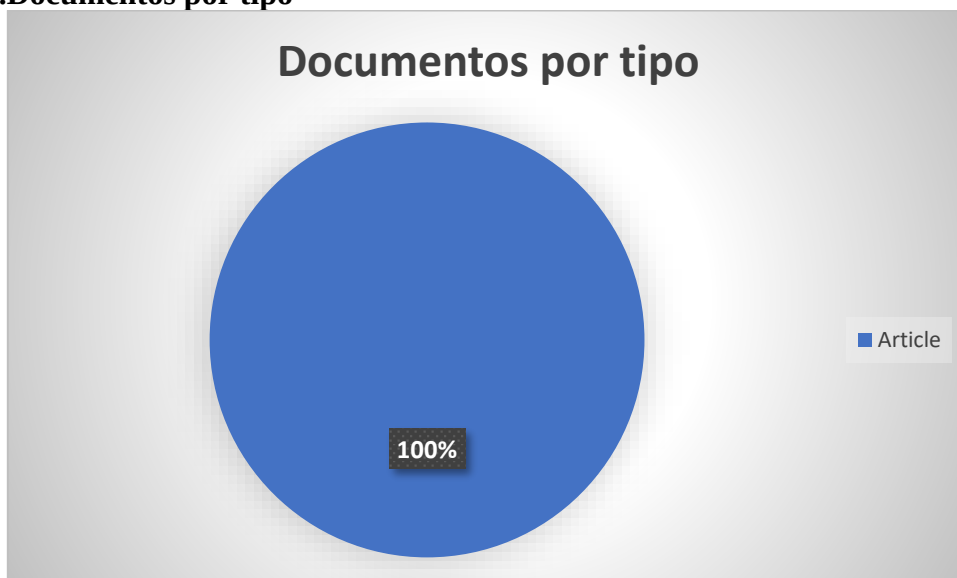


Ilustración 34: Documentos por tipo



- La mayoría son artículos científicos, con algo de participación en conferencias.

Las revisiones son menos comunes, lo que indica que el campo es más técnico y especializado, menos centrado en cuestiones transversales o estrategias generales.

La producción académica se caracteriza principalmente por la actividad técnica y científica, centrándose en mejoras concretas y concretas. No parece centrarse en la innovación radical o el cambio disruptivo, sino más bien en mejoras y avances en determinadas áreas.

4.7.Documentos por áreas temáticas

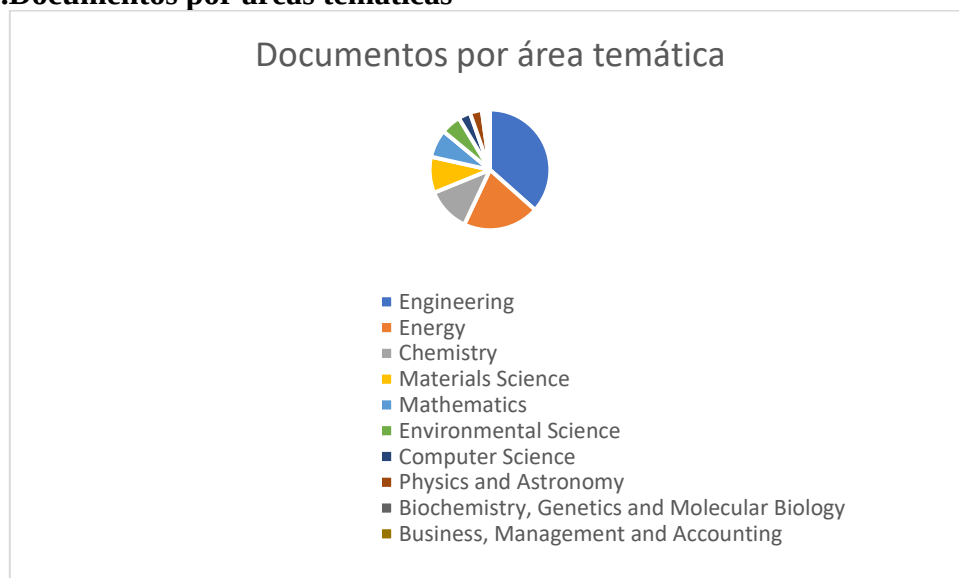


Ilustración 35: Documentos por área temática

Clasificación temática de publicaciones.

- Campos dominantes: Ciencia de los materiales, ingeniería, química inorgánica y física aplicada.
- También se incluyen los problemas de almacenamiento de energía estacionario cuando la red es inestable o inexistente.

La investigación se centra en optimizar el rendimiento, la reciclabilidad y la química de estas baterías, que siguen siendo útiles en aplicaciones donde el peso y la densidad de energía no son limitantes.

4.8.Documentos por patrocinador de financiamiento

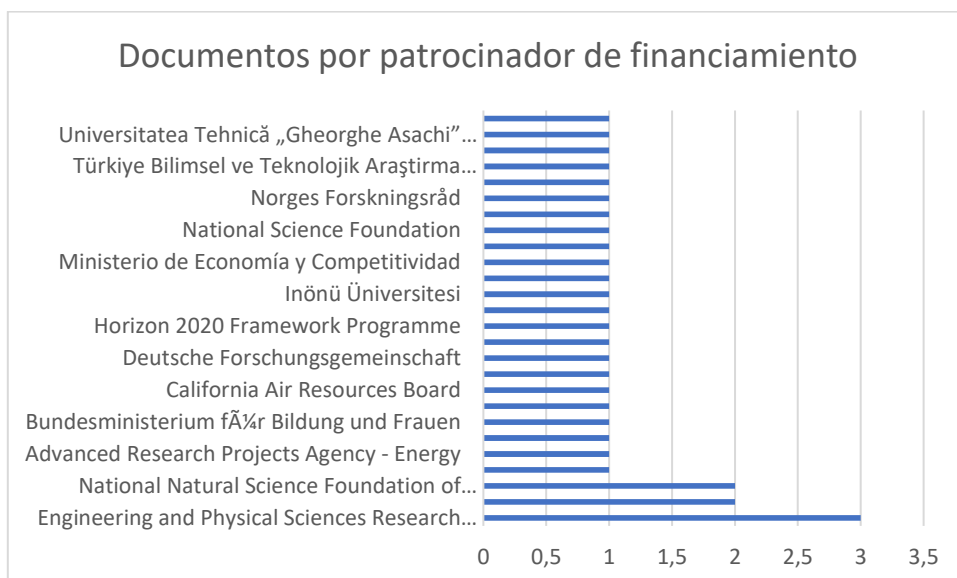


Ilustración 36: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí están las agencias que más financian estudios sobre baterías para autos eléctricos. La mayoría son ministerios de energía y transporte, agencias ambientales y fondos dedicados a la transición ecológica. También destacan programas europeos como Horizon 2020 y el Green Deal, así como fondos asiáticos especializados en innovación tecnológica. Esto demuestra que hay un respaldo fuerte por parte de instituciones a nivel global. Los gobiernos y fondos están poniendo prioridad en los vehículos eléctricos, mostrando que este tema está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la lucha contra el cambio climático.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

5.1. Documentos por año



Ilustración 37: Documentos por año

La gráfica ilustra cómo han evolucionado las publicaciones relacionadas con la batería de fosfato de hierro y litio (LiFePO_4), una variante dentro de la familia de las baterías de iones de litio.

- Desde 2012 hasta 2016, el interés fue muy bajo, con menos de 5 artículos cada año, lo que refleja una etapa inicial de experimentación y evaluación del material LFP como una opción segura y estable.
- Entre 2017 y 2021, vimos que el interés comenzaba a crecer de manera constante, principalmente debido a su mejora en la estabilidad térmica en comparación con otras baterías de litio, así como el interés de los fabricantes chinos atraídos por su bajo costo y buena durabilidad.
- De 2021 a 2024, el interés creció exponencialmente, llegando a más de 24 artículos en 2024. Este auge coincide con el regreso del uso de LFP en vehículos eléctricos, con empresas como Tesla y BYD a la cabeza. En resumen, el interés en LFP ha aumentado porque se considera una opción más segura, económica y duradera, lo que ha reactivado tanto la investigación científica como la inversión comercial en esta tecnología.

5.2. Producción por año según revistas



Ilustración 38: Producción por año según revistas

Esta gráfica muestra la cantidad de publicaciones por revista. Se puede ver que la mayoría están en revistas como *Energies* y *Journal of Power Sources*. También aparece *World Electric Vehicles*, lo cual indica que estas investigaciones son bastante avanzadas en el campo de la síntesis de materiales.

5.3. Documentos por autor

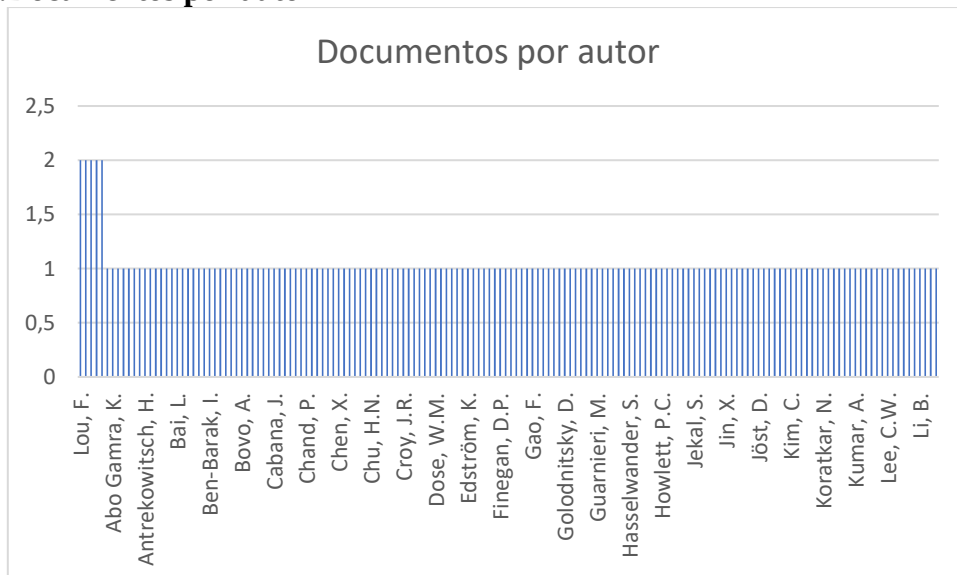


Ilustración 39: Documentos por autor

Cuando se mira quiénes están en investigación sobre baterías de LFP, podemos ver que hay varios autores asiáticos, especialmente chinos y coreanos, que tienen un número bastante alto de publicaciones.



Esto tiene sentido, ya que esa región lidera en el uso y producción de estas baterías. Además, algunos de estos investigadores también se enfocan en áreas como la catalización, el dopado de materiales o la simulación de estructuras en celdas.

5.4. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 40: Documentos por afiliación institucional

Aquí se puede ver cuáles son las instituciones que más han producido en investigación sobre celdas LFP. Principalmente, universidades e institutos chinos como Beyonder AS y Kunming University lideran la lista. Además, aparecen centros como el Instituto Weifang Institute y Università degli. En resumen, las instituciones más destacadas están relacionadas con países que se enfocan en la producción masiva y la validación industrial de celdas LFP, especialmente para vehículos medianos y autobuses eléctricos.

5.5. Documentos por país o territorio

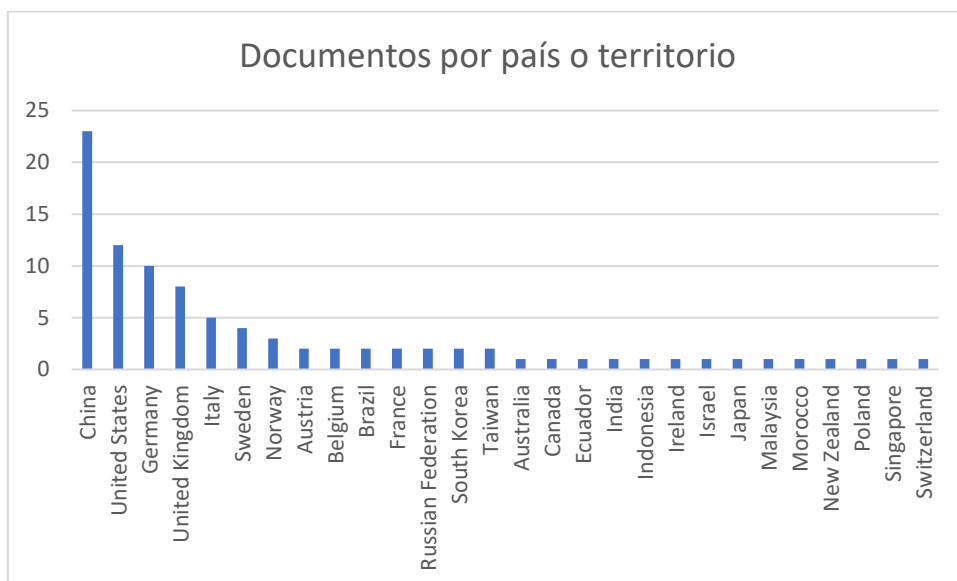


Ilustración 41: Documentos por país o territorio

Aquí se comparte cómo se distribuyen las publicaciones por país. China ocupa el primer lugar con diferencia. Le siguen Estados Unidos, Alemania, United Kingdom e Italia. Países como Austria, Brasil y Francia suelen quedar en posiciones más bajas. Para entenderlo mejor, podemos decir que la distribución geográfica de la investigación en baterías de litio ferro fosfato (LFP) refleja claramente la cadena global de producción, que se ha desplazado a países con una mayor capacidad manufacturera.

5.6. Documentos por tipo

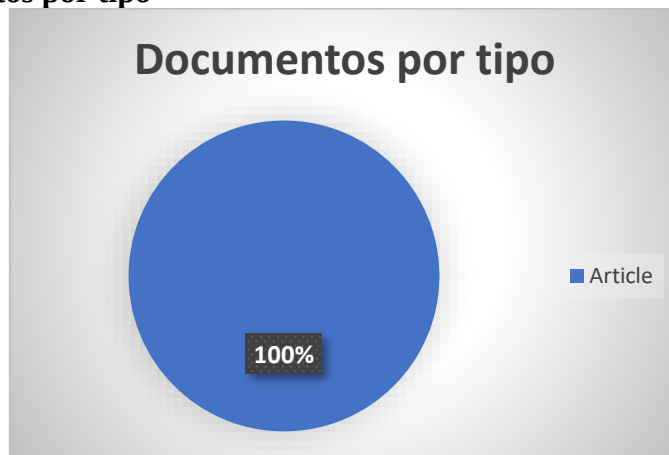


Ilustración 42: Documentos por tipo

El análisis del tipo de documentos muestra principalmente artículos científicos que han sido revisados por expertos, lo que refleja que son publicaciones confiables y bien fundamentadas. Además, también encontramos muchas presentaciones en conferencias, lo que indica que el



campo está creciendo rápidamente y ha sido muy activo en innovaciones en materiales.

5.7.Documentos por área temática

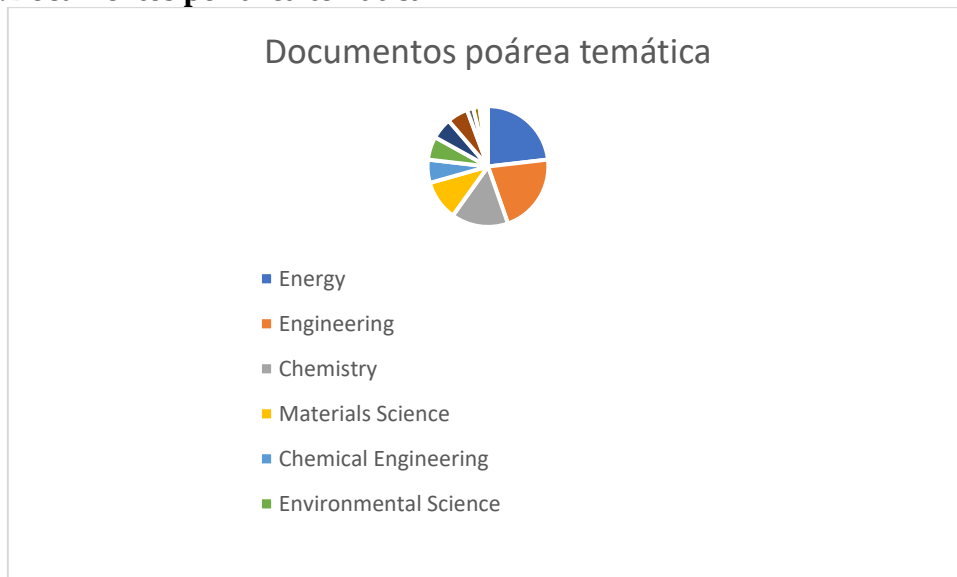


Ilustración 43: Documentos por área temática

Aquí se tiene una clasificación general de las publicaciones según su temática:

- Las áreas principales incluyen: Ciencia de materiales, Química, Ingeniería, Ciencias ambientales y Energía.
- También se identifican subtemas como termodinámica electroquímica, estructura cristalina y modelado térmico. Para entender mejor esto, podemos decir que el estudio de las baterías LFP se centra en comprender bien sus propiedades físicas y químicas, ya que su rendimiento depende mucho de aspectos como su forma, pureza y cómo se comportan respecto al calor.

5.8.Documentos por patrocinador de financiamiento

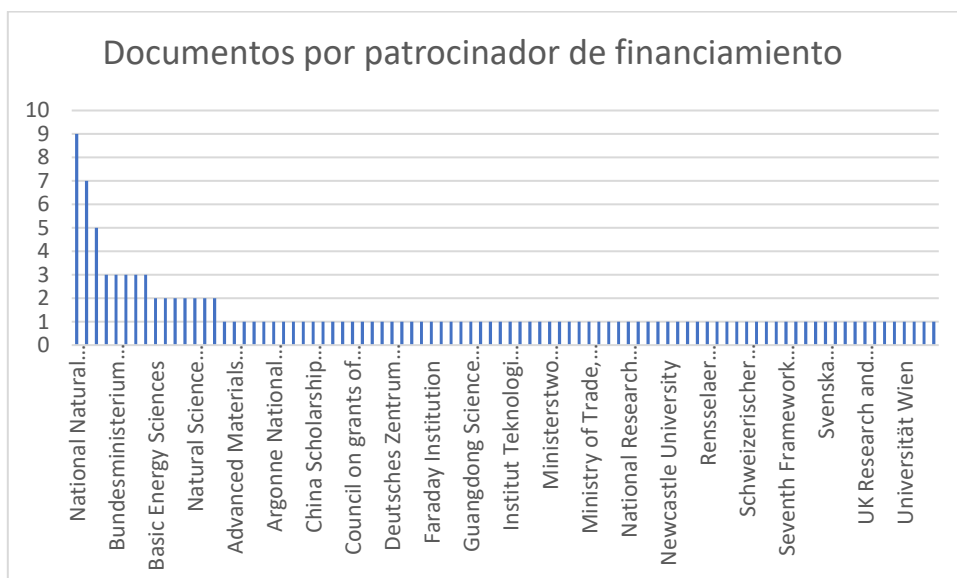


Ilustración 44: Documentos por patrocinador de financiamiento

Este proyecto de investigación ha sido financiado por diferentes organismos. Principalmente, destaca el apoyo de fondos del gobierno chino (NSFC), además de aportes de Corea y Estados Unidos (DOE). También se está explorando cómo la tecnología de LFP puede contribuir a programas enfocados en la sostenibilidad y en hacer más eléctricas las flotas de vehículos.

6. Solid-state battery AND commercialization

6.1. Documentos por año



Ilustración 45: Documentos por año



Este gráfico muestra cómo ha evolucionado la literatura sobre las baterías de estado sólido, que se consideran la próxima gran innovación en el almacenamiento de energía.

- 2015–2018: el número de investigaciones fue casi nulo, se presentaron menos de 2 documentos por año. La investigación aún estaba en sus inicios, principalmente debido a las dificultades asociadas con la conducción de materiales sólidos.
- 2019–2021: A medida que creció el interés académico, comenzaron a aparecer más investigaciones. Se publicaron varios estudios experimentales sobre nuevos electrolitos sólidos.
- 2022–2024: este es un período de crecimiento muy rápido. Para 2024, ya habrá más de 13 publicaciones que identifican las baterías de estado sólido como una tecnología clave, especialmente en la industria automotriz (por ejemplo, Toyota y QuantumScape).

El aumento en las publicaciones refleja que en todo el mundo se ha reconocido que las baterías de estado sólido ofrecen una alternativa más segura, con mayor densidad de energía y mayor durabilidad que las tradicionales baterías de iones de litio. Esto ha impulsado a empresas y universidades a seguir investigando y desarrollando esta tecnología.

6.2. Producción por año según revistas

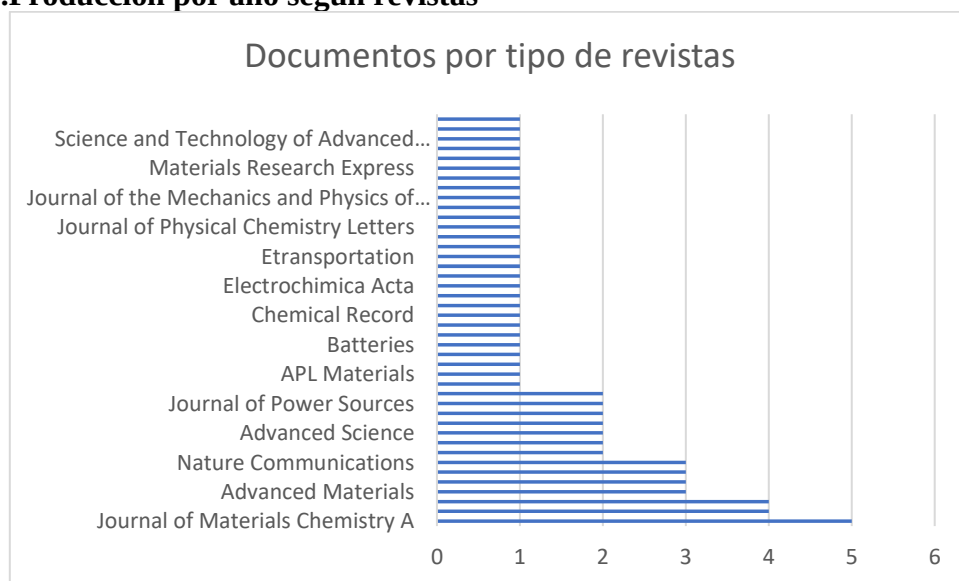


Ilustración 46: Producción por año según revistas

Aquí se puede ver las principales revistas donde se han publicado investigaciones sobre esta tecnología. Algunas de las más destacadas son *Journal of Materials Chemistry*, *Advanced Materials*, *Nature Communications* y *Advanced Science*. Muchas de estas publicaciones



tienen un impacto alto y se enfocan en explorar nuevos materiales, estructuras y sus propiedades físicas.

6.3.Documentos por autor

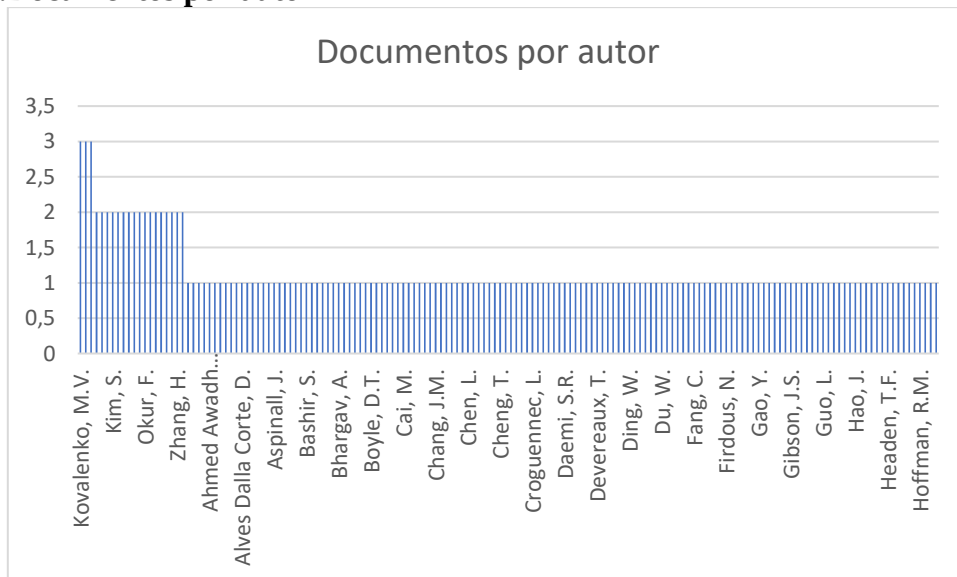


Ilustración 47: Documentos por autor

Aquí se presenta a algunos de los autores más activos en este campo. Entre ellos, hay investigadores que se especializan en electrolitos sólidos, cómo conducen los iones, y en el diseño de celdas sin líquidos. La mayoría de estos expertos trabajan en universidades de Asia y Europa, así como en startups tecnológicas.

6.4.Documentos por afiliación institucional

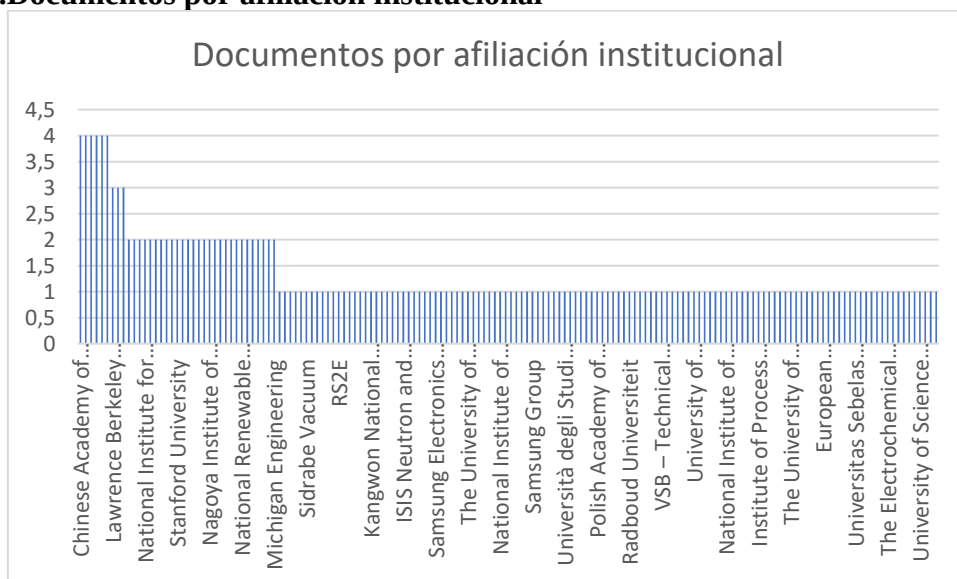


Ilustración 48: Documentos por afiliación institucional



Aquí se observa cuáles son las instituciones que más publicaciones han realizado. En Asia, especialmente en países como China, Japón y Corea, destacamos institutos como la Universidad Tohoku, el Instituto de Tecnología de Tokio y la Academia China de Ciencias. También hay una fuerte presencia de empresas innovadoras como Samsung, Toyota y QuantumScape, que colaboran con centros de investigación en proyectos conjuntos.

6.5. Documentos por país o territorio

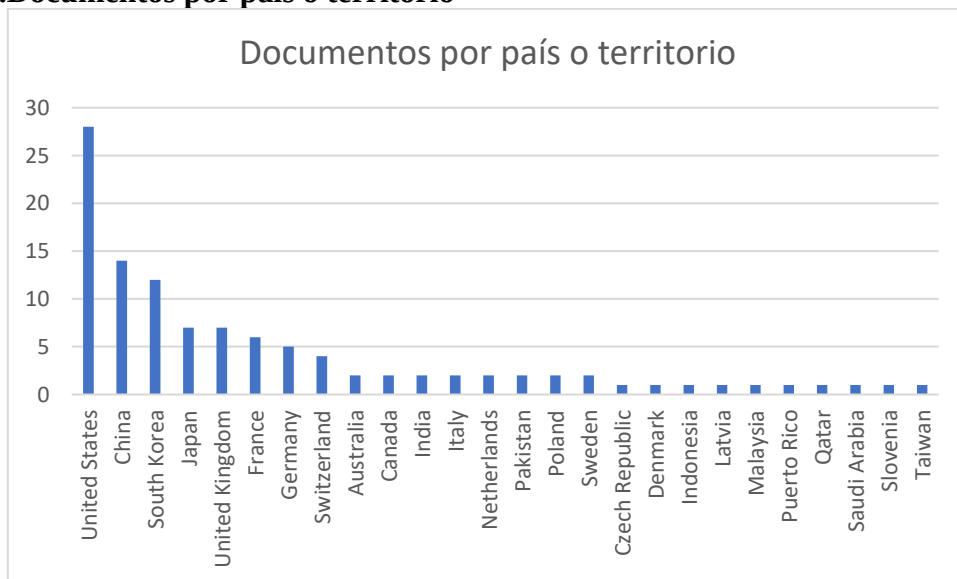


Ilustración 49: Documentos por país o territorio

Este gráfico muestra cuántos documentos hay por país. Estados Unidos lidera claramente, seguida de China, Corea del Sur, Japón y Francia. Alemania destaca por su experiencia en baterías pequeñas y por el fuerte interés de Toyota en las baterías de estado sólido.

Se ve claramente que Asia y Estados Unidos llevan la delantera, aunque Europa y América, también están invirtiendo en tecnologías similares. En realidad, estamos ante una especie de carrera mundial, tanto en lo político como en lo tecnológico, y esto puede tener grandes repercusiones económicas.

6.6. Documentos por tipo



Ilustración 50: Documentos por tipo

Al revisar los documentos, encontramos que la mayoría son artículos científicos, especialmente papers de conferencia. Esto muestra que el campo todavía está en pleno proceso de exploración y cambio constante.

También hay revisiones recientes, lo cual indica que ya se está formando una base teórica sólida que ayuda a entender mejor sus ventajas y limitaciones.

La cantidad de investigaciones basadas en experimentos sugiere que todavía estamos en la etapa de pruebas y prototipos, aunque los avances son rápidos y cada vez más se acerca a crear celdas que puedan usarse comercialmente.

6.7.Documentos por área temática



Ilustración 51: Documentos por área temática

Las publicaciones se agrupan principalmente en disciplinas como Ciencia de Materiales, Física del Estado Sólido, Electroquímica e Ingeniería Energética. También se abordan áreas como simulación computacional y nanociencia. Lo que esto significa es que el desarrollo de las baterías de estado sólido depende mucho del diseño a nivel atómico y estructural de los materiales.

La mayoría de los estudios se centran en la frontera de lo que sabemos en la investigación científica, empujando los límites para entender mejor cómo mejorar estas tecnologías.

6.8. Documentos por patrocinador de financiamiento



Ilustración 52: Documentos por patrocinador de financiamiento



Los fondos principales que suelen apoyar estas investigaciones incluyen a la NSFC (China), el Ministerio de Educación de Japón, el DOE de Estados Unidos, y fondos privados como Volkswagen o Toyota Research Institute.

- Hay una combinación de interés tanto de gobiernos como de empresas.

Este nivel de financiamiento muestra que esta tecnología se considera una innovación importante para la próxima generación de movilidad eléctrica y sistemas de almacenamiento estacionario.

7. Sodium-ion battery AND performance

7.1. Artículos por año



Ilustración 53: Documentos por año

Este gráfico muestra cómo las publicaciones científicas sobre baterías de iones de sodio (Na-ion) han evolucionado con el tiempo.

- 2012–2014: En estos años hubo casi cero graduaciones. Este campo aún era muy temprano y no atraía mucho interés en comparación con las baterías de litio.
- 2015–2020: Aquí es donde empieza a llamar más la atención en el mundo académico, principalmente porque el sodio es abundante y barato. Además, durante estos años se superó la barrera de las 158 publicaciones al año.
- 2020–2024: Desde entonces, el crecimiento ha sido muy rápido. Para 2024, se registraron más de 250 publicaciones, lo que indica que las baterías de iones de sodio se perfilan como una nueva tecnología con gran potencial para reemplazar parcialmente a las baterías de litio.



El aumento acelerado en las publicaciones muestra que las Na-ion están llamando la atención a nivel mundial como una alternativa económica, especialmente para almacenamiento de energía estacionario y para vehículos de gama media o baja.

7.2. Producción por año según revistas

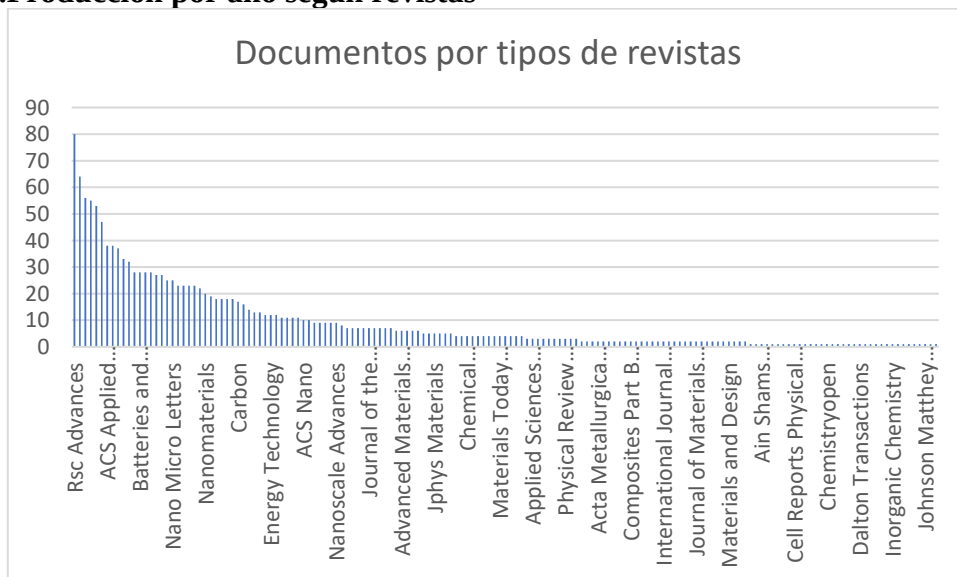


Ilustración 54: Producción por año según revistas

Aquí se presenta las revistas con más publicaciones sobre baterías de sodio-ion (Na-ion). Encabezan la lista el Rsc Advances, ACS Applied y Batteries and vehicles. Estas revistas cubren desde aspectos básicos de la electroquímica hasta aplicaciones prácticas, mostrando que el desarrollo de las baterías Na-ion se aborda desde diferentes disciplinas como materiales, química, ingeniería y energía.

7.3. Documentos por autor

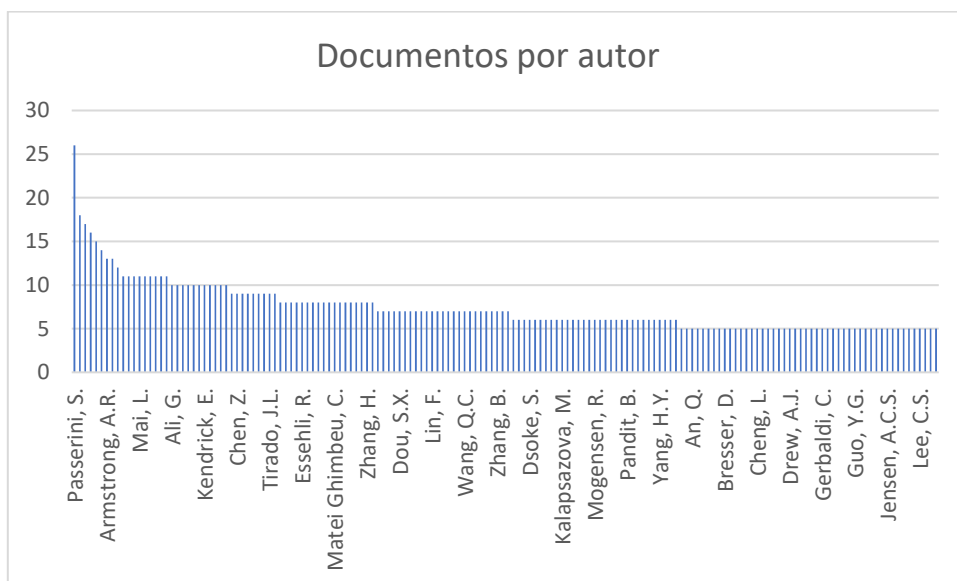


Ilustración 55: Documentos por autor

Se va a visualizar quienes están más activos en este campo de investigación. La mayoría son autores de universidades e institutos en Asia, sobre todo en China y Corea, que han estado en experimentar con cátodos y electrolitos para formas de almacenamiento basadas en sodio. Algunos de estos investigadores también escriben sobre opciones alternas de baterías, como las de potasio o zinc-aire. En resumen, parece que hay un grupo creciente de científicos que están enfocados en tecnologías que van más allá del litio.

Esto indica que estamos viendo un cambio hacia materiales más abundantes y fáciles de obtener en el futuro.

7.4. Documentos por afiliación institucional

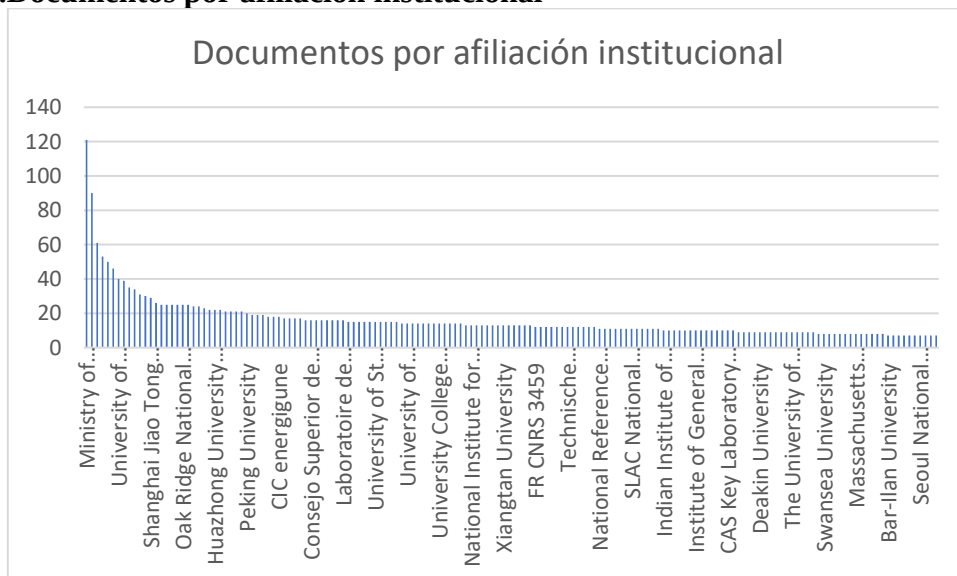


Ilustración 56: Documentos por afiliación institucional



Aquí puedes ver las instituciones que están haciendo más investigación en ciencia. Las universidades chinas y americanas tienen una presencia importante, como la Academia China de Ciencias, la Universidad Fudan y Tsinghua University, entre otras. También aparecen centros en Europa, como el CNRS en Francia y el Instituto Helmholtz en Alemania.

Esto refleja que la mayor parte de la investigación se concentra en países que tienen su propia estrategia de energía y que invierten en innovación. La apuesta por la tecnología de iones de sodio (Na-ion) es fuerte en lugares donde hay inversión nacional en tecnologías de almacenamiento descentralizado.

7.5. Documentos por país o territorio



Ilustración 57: Documentos por país o territorio

La distribución geográfica de las publicaciones revela que China está a la cabeza por mucho, seguida de cerca por Japón, Italia, Bulgaria, Turquía e Israel. Egipto también tiene una presencia importante, impulsada especialmente por iniciativas relacionadas con la soberanía energética y la transición verde.

La producción científica en este campo parece estar alineada con los países que están buscando diversificar sus fuentes tecnológicas para el almacenamiento de energía, especialmente ante los desafíos de los costos y la sostenibilidad del litio.

7.6. Documentos por tipo



Ilustración 58: Documentos por tipo

Aquí se comparte una visión general sobre cómo se clasifican los documentos según su tipo. La mayoría son artículos científicos originales, y también hay una buena cantidad de conferencias, lo que muestra que el campo aún está en desarrollo, lleno de ideas nuevas y en constante prueba. En estos últimos años, además, se han incrementado los artículos de revisión, lo que indica que la ciencia en este sector va madurando poco a poco.

7.7. Documentos por área temática

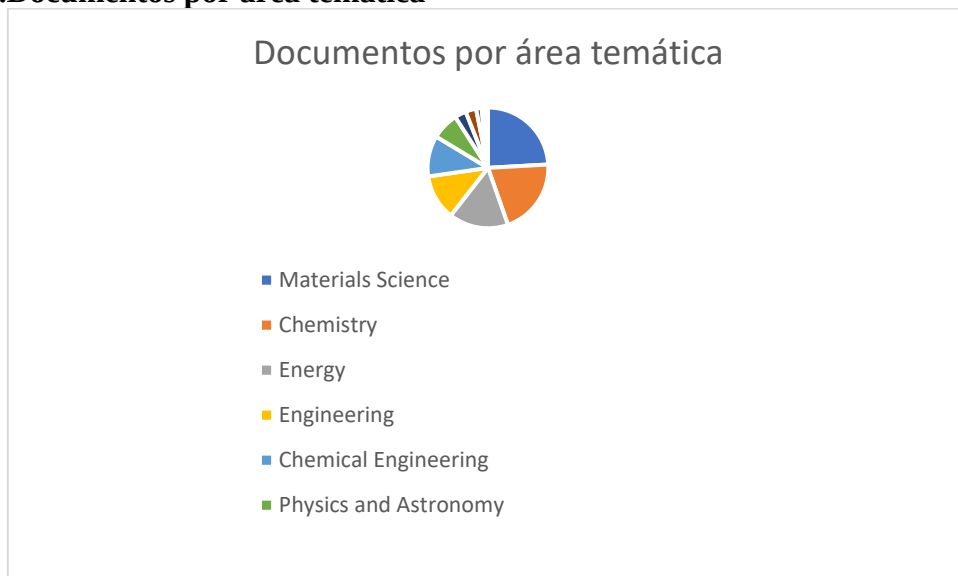


Ilustración 59: Documentos por área temática

La ilustración muestra una visión general de los temas más frecuentes en las publicaciones. La mayoría se centran en ciencia de materiales, química



electroquímica, ingeniería y energía. También hay menor presencia de física aplicada y nanotecnología.

7.8. Documentos por patrocinador de financiamiento



Ilustración 60: Documentos por patrocinador de financiamiento

Este diagrama presenta a las organizaciones que financian esta línea de investigación. Principalmente, se destacan fondos públicos como el NSFC en China, el Ministerio de Ciencia de Corea, la Unión Europea y el Departamento de Energía de Estados Unidos. Además, en algunos casos aparecen también iniciativas privadas, especialmente en proyectos piloto relacionados con las baterías de sodio-ion para uso industrial.

8. Hybrid battery AND lifetime

8.1. Documentos por año



Ilustración 61: Documentos por año

Esta gráfica muestra cómo han ido aumentando las publicaciones sobre baterías híbridas a lo largo de los años. La idea de baterías híbridas incluye diferentes combinaciones de tecnologías de almacenamiento, como químicas, electrostáticas o estructurales.

- 2008–2012: La cantidad de artículos fue baja, con menos de 2 documentos por año. La mayoría eran conceptos teóricos o pruebas iniciales en laboratorio.
- 2013–2018: Se notó un incremento, impulsado por el desarrollo de sistemas híbridos para aplicaciones específicas, como vehículos híbridos o respaldo en energías renovables. Alcanzando con menos de 20 publicaciones por año.
- 2019–2024: La tendencia creció aún más, y en 2024 se superaron las 33 publicaciones. El término “Hybrid battery” se volvió más común, especialmente en estudios que combinan tecnologías como Li-ion con supercondensadores o baterías de azufre con redox-flow.

Este campo está mostrando una tendencia clara: cada vez más, las soluciones híbridas y multifuncionales aparecen para superar las limitaciones de cada tecnología por separado, creando soluciones más versátiles y adaptables.

8.2. Producción por año según revistas

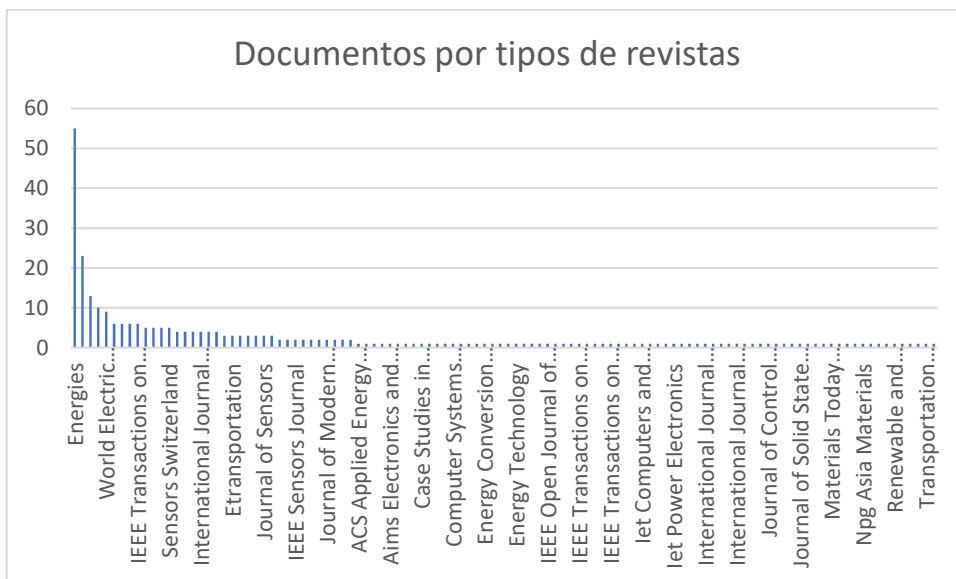


Ilustración 62: Producción por año según revistas

Aquí se puede ver qué revistas han publicado más sobre este tema. Por ejemplo, revistas como Energies, World Electric e IEEE Transactions suelen aparecer con frecuencia. También aparecen otras como Sensor Switzerland e International Journal, lo que indica un interés creciente en nuevas arquitecturas y materiales híbridos.

8.3.Documentos por autor

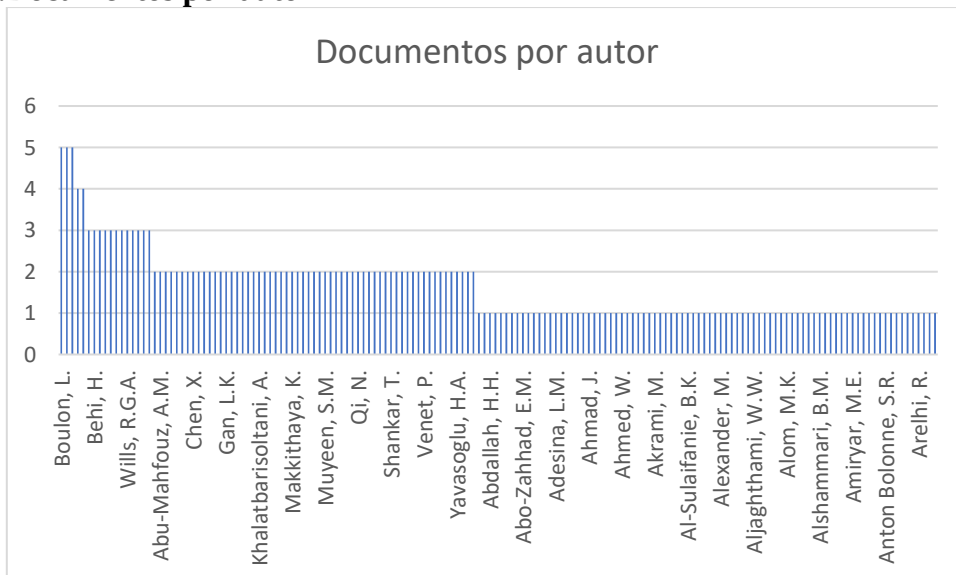


Ilustración 63: Documentos por autor

Aquí se tiene a los investigadores que están más activos en el campo de las baterías híbridas. Vienen de diferentes áreas, como ingeniería eléctrica, ciencia de materiales, química aplicada y control de energía. Muchos de



ellos trabajan en sistemas de almacenamiento combinados, ya sea para vehículos eléctricos o para microrredes.

8.4.Documentos por afiliación institucional

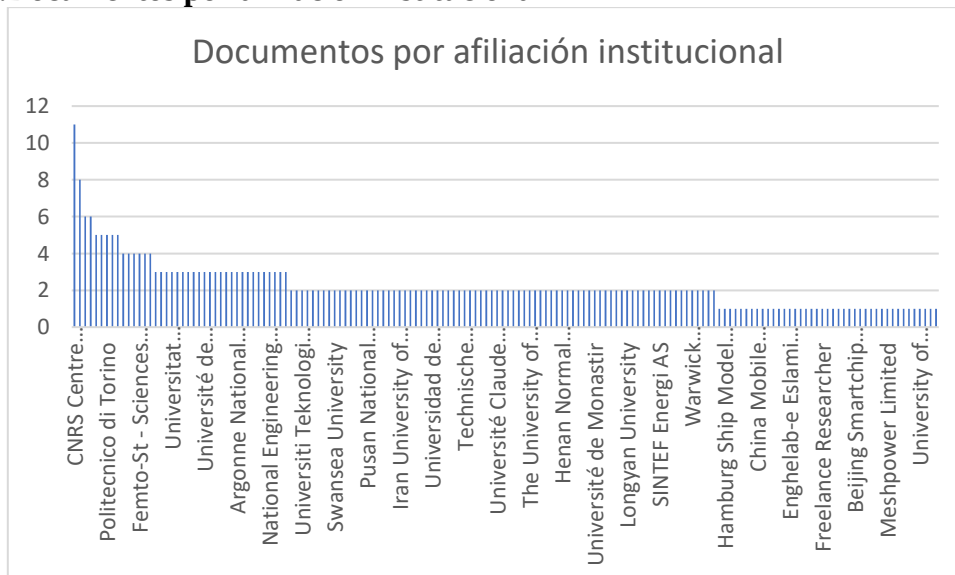


Ilustración 64: Documentos por afiliación institucional

Aquí se muestran las instituciones más destacadas en esta área de investigación. Entre ellas, destacan universidades asiáticas como CNRS Centreriment, Politecnico di Torino y Femto-St-Scences que lideran el camino. También hay centros en Europa y Estados Unidos que están trabajando en proyectos multidisciplinarios enfocados en la integración energética.

8.5.Documentos por país o territorio

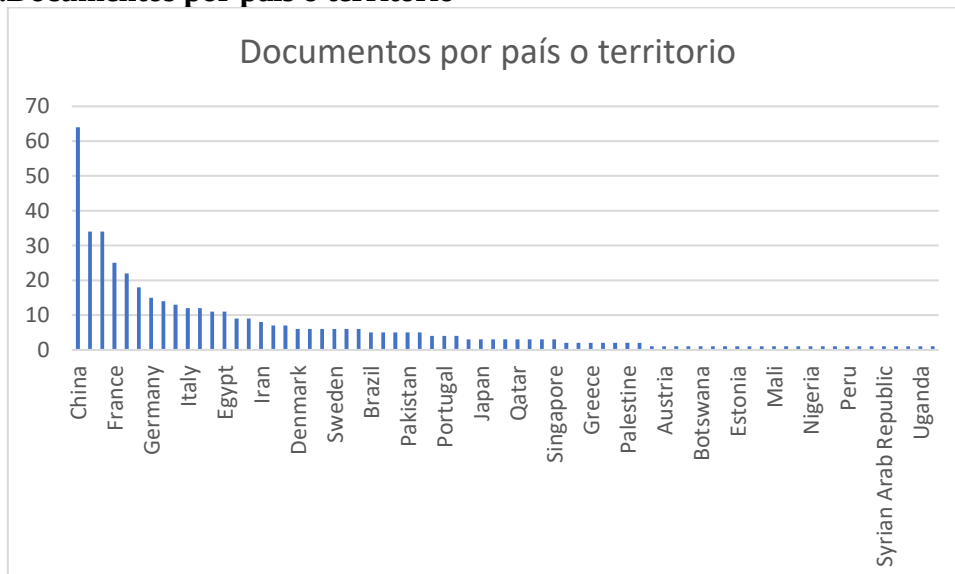


Ilustración 65: Documentos por país o territorio



Aquí se puede ver cómo se distribuyen geográficamente las publicaciones. China encabeza la lista en cantidad, seguida por Francia, Alemania e Italia. y algunos países africanos como Egipto, Irán. India y Reino Unido también están mostrando un crecimiento constante.

Los países que lideran suelen tener economías con un fuerte desarrollo industrial y tecnológico en el sector automotriz. La hibridación surge como una solución práctica, ya que ayuda a superar las limitaciones de autonomía, peso o costo que tienen las baterías tradicionales.

8.6.Documentos por tipo



Ilustración 66: Documentos por tipo

Se pueden clasificar las publicaciones según su tipo. La mayoría son artículos científicos y papers de conferencias técnicas. También hay algunos artículos de revisión, lo que indica que el campo está comenzando a consolidarse como una línea de investigación emergente. Pero predominan los artículos.

La producción académica se caracteriza por la exploración de ideas nuevas y arquitecturas poco convencionales, con un enfoque fuerte en la experimentación y un interés académico en aumento.

8.7.Documentos por área temática

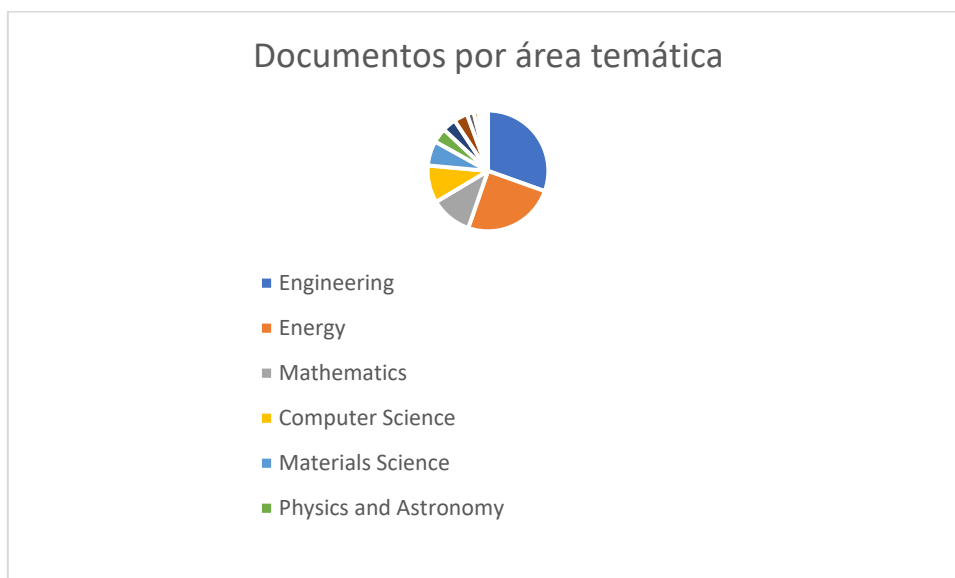


Ilustración 67: Documentos por área temática

Aquí se tiene una visión general de las temáticas principales en las publicaciones. Se destacan áreas como Ingeniería eléctrica y electrónica, Ciencia de materiales, Energía, Electroquímica y Nanotecnología. También se abordan temas relacionados con la gestión térmica y el control inteligente de sistemas híbridos.

8.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

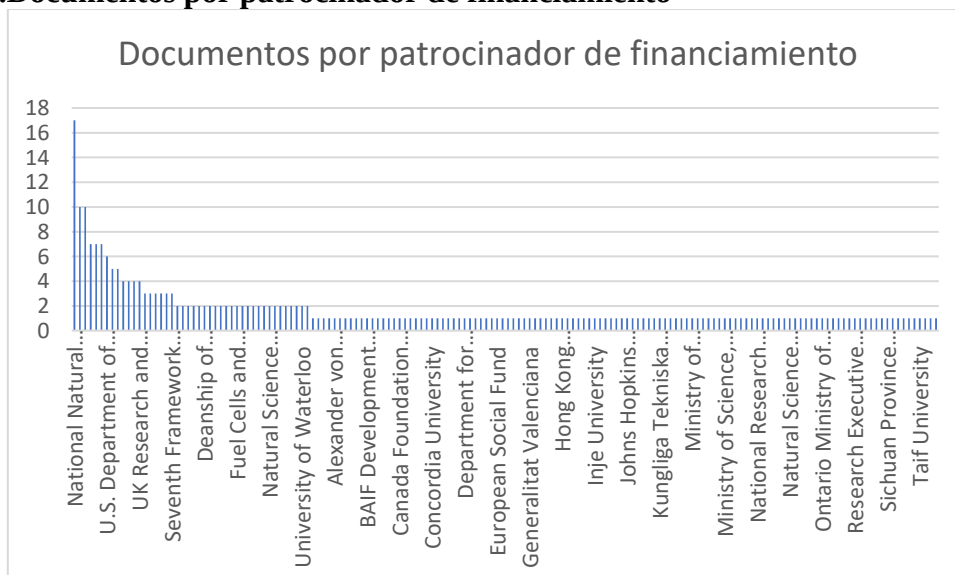


Ilustración 68: Documentos por patrocinador de financiamiento

Este texto presenta a los principales financiadores de la investigación mostrados en la ilustración. Entre ellos, se destacan fondos públicos como la NSFC, el DOE y programas europeos relacionados con almacenamiento



y movilidad. Además, algunos proyectos cuentan con la participación de fabricantes de vehículos híbridos, como Toyota y Hyundai.

La colaboración entre instituciones públicas y empresas confirma que la idea de la hibridación energética es muy importante, especialmente para aplicaciones avanzadas como autos eléctricos de larga distancia o sistemas independientes de respaldo de energía.

9. Battery efficiency AND charging

9.1.Documentos por año



Ilustración 69: Publicaciones por año

Este gráfico muestra cómo han evolucionado las publicaciones sobre la eficiencia de las baterías, un aspecto clave que afecta a la eficiencia energética, la autonomía y la sostenibilidad.

- 2007–2014: Esta fue la fase inicial con un número de publicaciones relativamente bajo (menos de 20 por año). En aquel momento, la eficiencia se consideraba sólo una parte de la investigación más amplia sobre baterías.
- 2015–2018: se produjo una tendencia al alza, coincidiendo con el creciente uso de baterías en sistemas solares, vehículos eléctricos e infraestructuras críticas.
- 2019–2024: El volumen de investigación continuó creciendo de manera constante, alcanzando casi 315 publicaciones en 2024. La atención se centra en desarrollar baterías más eficientes con menos pérdida de energía y mayor utilidad.



La eficiencia energética se ha convertido en una prioridad en el desarrollo de nuevas celdas, algoritmos de carga y gestión térmica, evidenciando los avances tecnológicos y la búsqueda de mejoras.

9.2. Producción por año según revistas

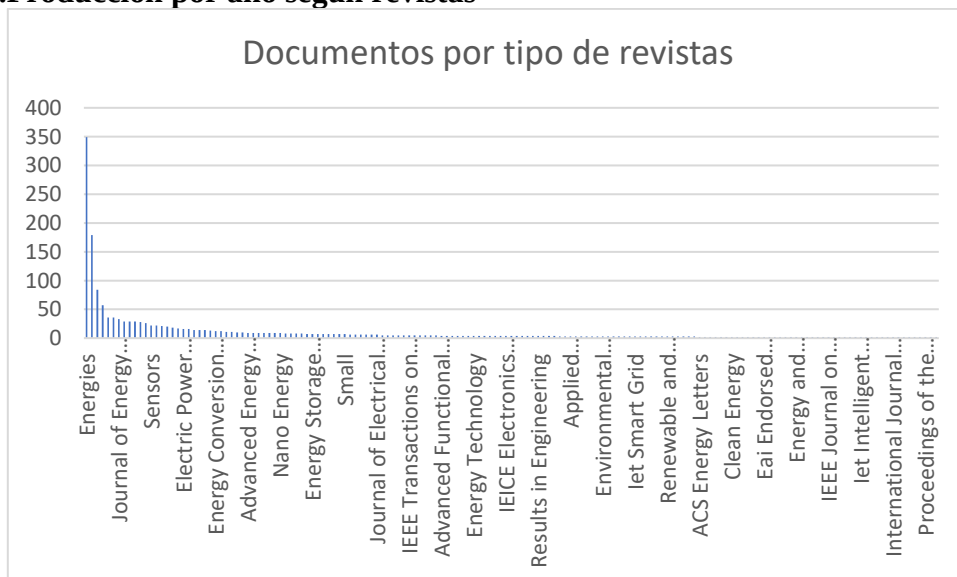


Ilustración 70: Producción por año según revistas

Aquí se tiene una lista de las revistas más activas en este tema: destacan principalmente Energies, Journal of Energy, Sensors y Electric Power. Esto demuestra que hay un enfoque diverso en el análisis de eficiencia, combinando aspectos electroquímicos, energéticos y eléctricos.

En cuanto a la interpretación, el concepto de eficiencia se aborda tanto desde el diseño de materiales como desde la gestión energética a nivel de sistemas completos, como baterías, convertidores y motores.

9.3. Documentos por autor

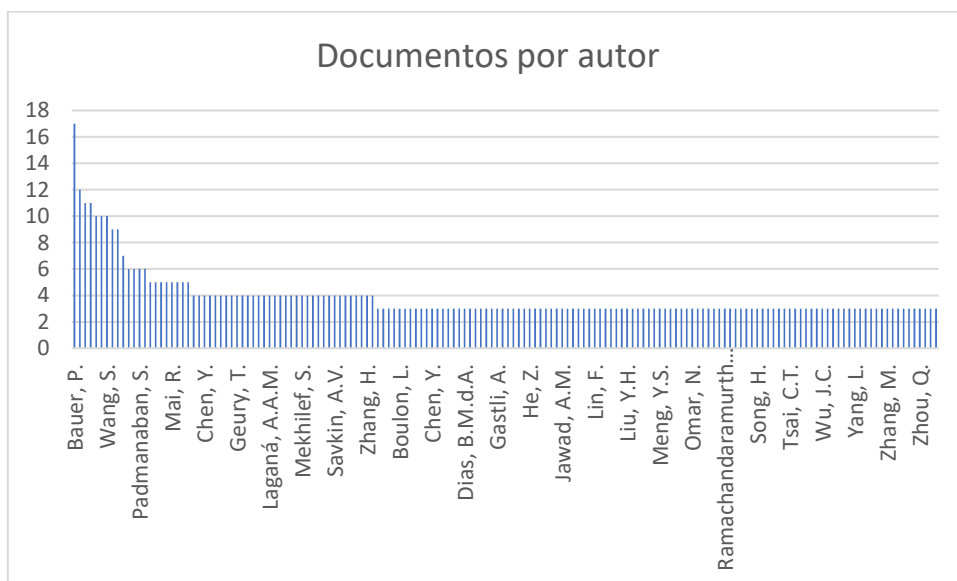


Ilustración 71: Documentos por autor

Aquí se presenta una lista con algunos de los investigadores más activos en el estudio de la eficiencia de las baterías. La mayoría de ellos proviene del campo de la ingeniería eléctrica, la energía y la automatización en sistemas de almacenamiento. Lo que se destaca es que su trabajo se centra en áreas como el diseño de estrategias de carga, la optimización térmica y el control inteligente.

9.4. Documentos por afiliación institucional

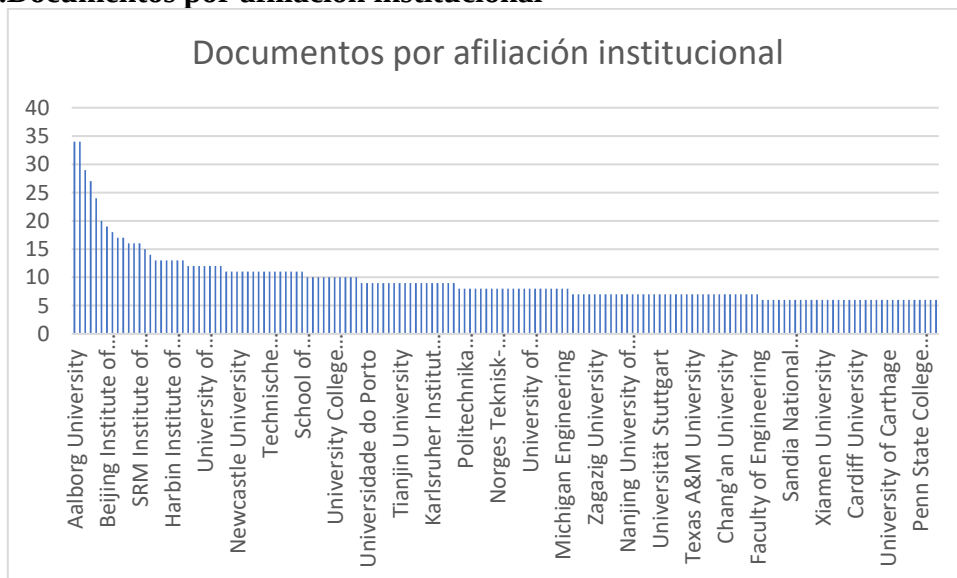


Ilustración 72: Documentos por afiliación institucional

Aquí se tiene una visión general de las instituciones que destacan en este campo. Entre ellas, encontramos centros académicos especializados en modelado y simulación, así como universidades que tienen laboratorios



dedicados a energías renovables y la integración de baterías. Algunas de las instituciones más reconocidas por su producción científica son la Alborg University, Beijing Institute, SRM Institute, Harbin Institute.

9.5. Documentos por país o territorio

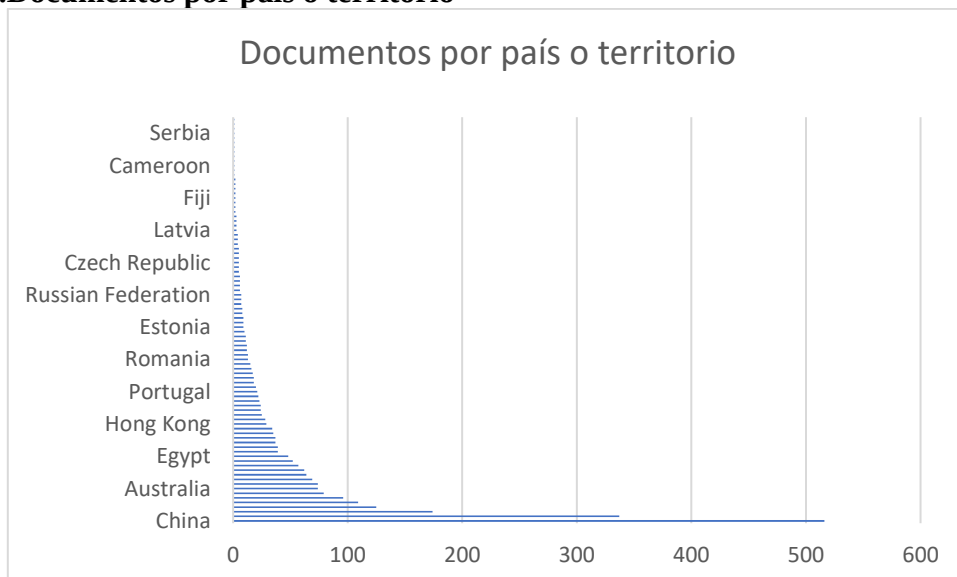


Ilustración 73: Documentos por país o territorio

La producción científica varía según el país como muestra la ilustración. China, Australia y Egipto están a la cabeza, seguidos por Hong Kong, Portugal y Rumania. Por otro lado, Rusia, Estonia, todavía tienen una participación limitada en este campo.

Los países que más avanzan en esta área suelen tener una industria automotriz fuerte, mucha investigación en electrónica de potencia y leyes de eficiencia energética muy estrictas, lo que explica por qué invierten bastante en ello.

9.6. Documentos por tipo

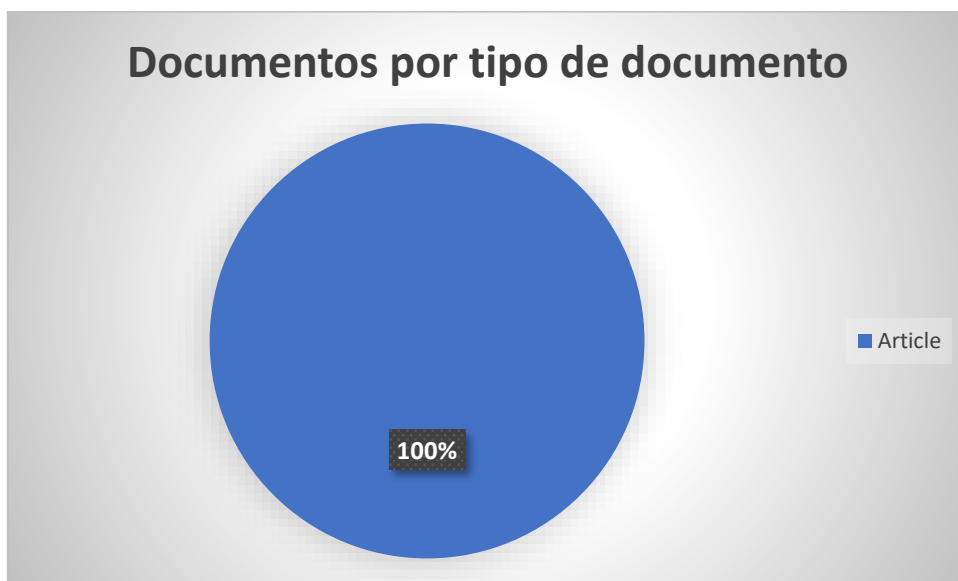


Ilustración 74: Documentos por tipo

La ilustración recalca que se producen principalmente artículos originales, acompañados de muchas conferencias, lo que muestra que el campo está en constante innovación y recibe actualizaciones frecuentes. También hay revisiones que resumen cómo se calculan la eficiencia, el impacto térmico y cómo evolucionan los ciclos.

En general, esto indica que estamos frente a un área bastante consolidada y activa, donde se publican desde experimentos hasta modelos computacionales que validan estrategias para mejorar la eficiencia energética.

9.7. Documentos por área temática

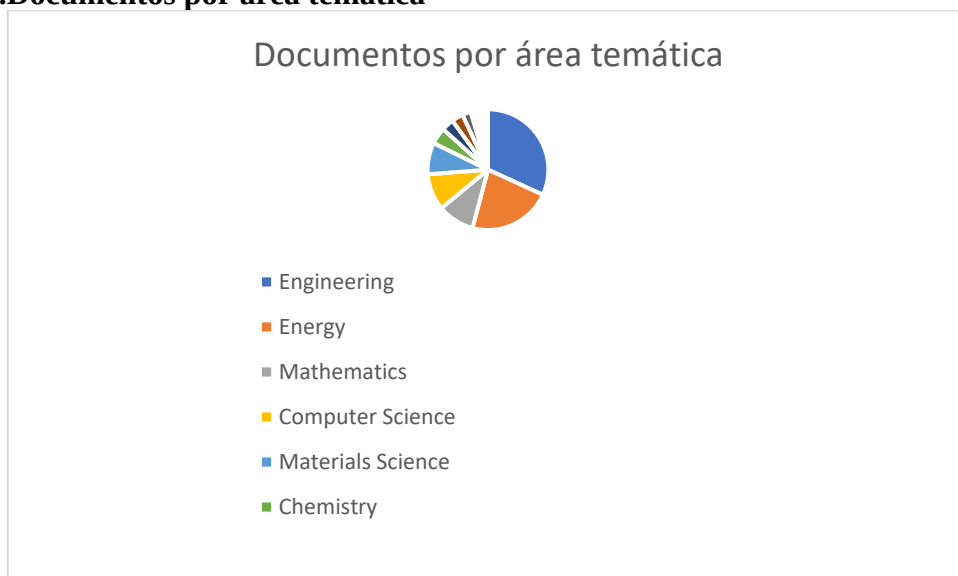


Ilustración 75: Documentos por área temática



Aquí se comparte una visión general de las principales áreas de investigación. La mayoría de los trabajos se concentran en ingeniería eléctrica, ciencia de materiales, energía, computación y simulación, además de electroquímica.

También hay publicaciones en campos como automatización, robótica y sistemas embebidos. Para entender mejor, esto indica que el estudio de la eficiencia cubre desde los aspectos químicos internos de las celdas hasta su integración en sistemas complejos como vehículos eléctricos autónomos o microrredes.

9.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

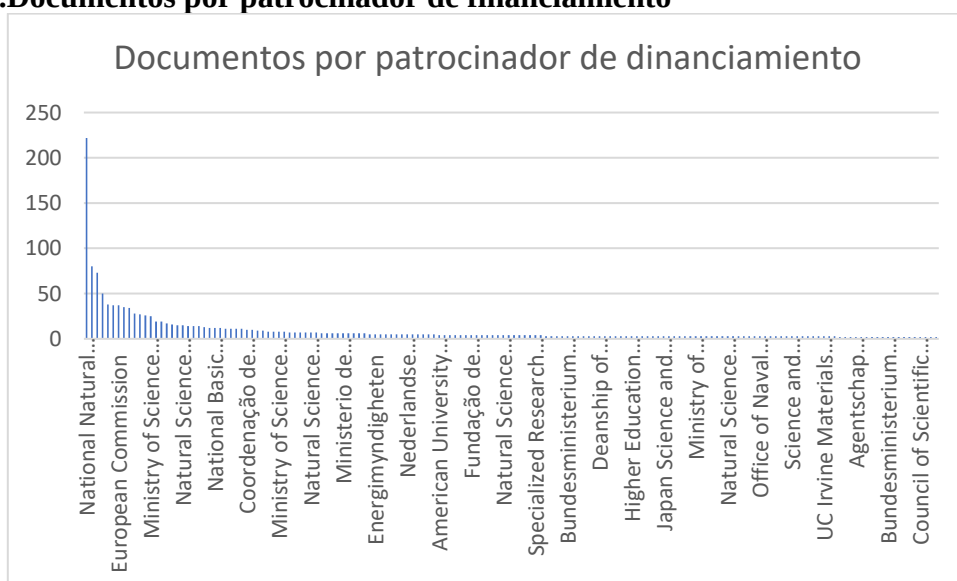


Ilustración 76: Documentos por patrocinador de financiamiento

Los organismos que más están financiando en este ámbito son diversos. Se ven fondos que apoyan temas de energía y sostenibilidad, como el DOE, NSFC y fondos de la Unión Europea. Además, hay proyectos relacionados con vehículos eléctricos inteligentes y la eficiencia energética.

También podrían estar implicadas algunas empresas privadas que fabrican sistemas de gestión de baterías (BMS).

10. Battery lifespan AND Li-ion

10.1. Documentos por año



Ilustración 77: Documentos por año

La gráfica ilustra cuántos estudios se han realizado cada año sobre la vida útil de las baterías, un aspecto clave en aplicaciones que necesitan durar mucho tiempo, como autos eléctricos, sistemas de almacenamiento en casa y procesos industriales.

- Desde 2011 hasta 2017, la cantidad de artículos fue bastante baja, con menos de 2 por año. En ese tiempo, la vida útil era un tema secundario, y lo que más se estudiaba era la densidad de energía.
- De 2017 a 2020, el número de publicaciones aumentó ligeramente, principalmente porque más personas utilizan coches eléctricos y estaban interesadas en comprender mejor cómo se degradan las baterías.
- El interés aumentó rápidamente entre 2021 y 2024, con más de 34 artículos en 2024. Esto se debe a que hay mucho interés en mejorar la duración de la batería, centrándose en aspectos como cuántos ciclos de carga y descarga pueden soportar, cómo la temperatura y la química afectan su rendimiento y cómo prolongar la vida útil.

Ahora, la vida útil de las baterías es un dato muy importante para diseñar y administrar estos sistemas. Afecta todo, desde su rentabilidad hasta su impacto en el medio ambiente y su aceptación en el mercado.

10.2. Producción por año según revistas

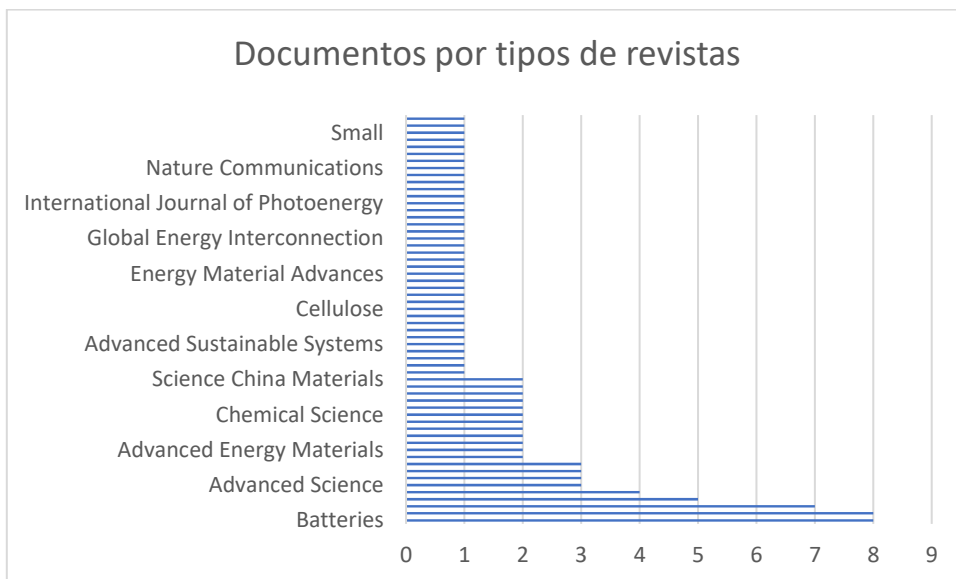


Ilustración 78: Producción por año según revistas

Aquí se muestra las revistas que más publican sobre este tema. Entre las más destacadas están Batteries, Advanced Science, Advanced Energy Materials y Chemical Science. También hay algunos artículos que provienen del área de confiabilidad de sistemas, como los que se encuentran en Science China Materials.

Para entender mejor lo que significa esto, podemos decir que el tema se aborda tanto desde la parte práctica, haciendo ensayos de envejecimiento, como desde el modelado matemático y las predicciones sobre cómo las celdas se degradan con el tiempo.

10.3. Documentos por autor

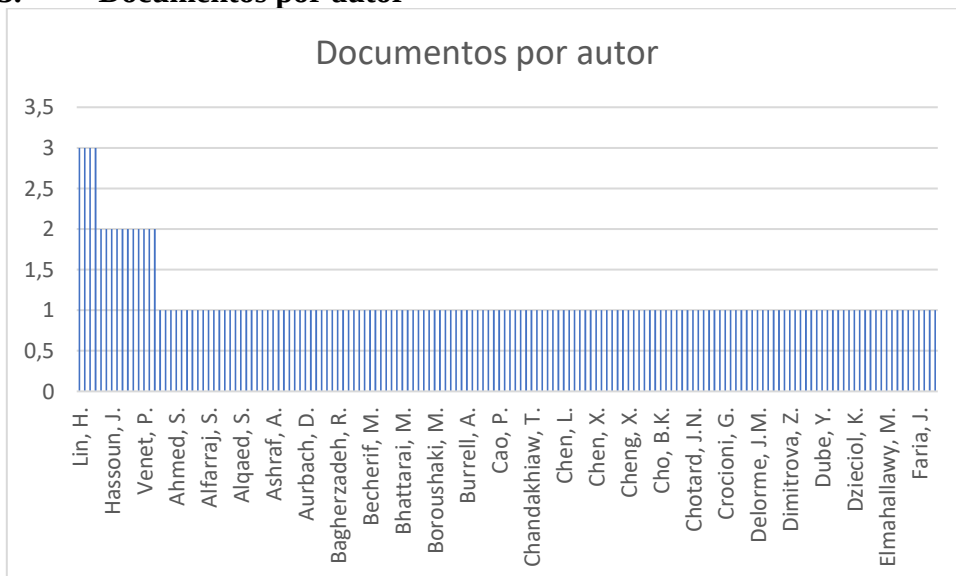


Ilustración 79: Documentos por autor



Aquí se presenta a los investigadores que destacan en este campo.

- Muchos de ellos se enfocan en modelado del ciclo de vida, o electroquímica del envejecimiento.
- También hay grupos que trabajan en tecnologías para rejuvenecer baterías o en métodos para diagnosticar el estado de salud (SoH).

Esto muestra una comunidad científica sólida que busca predecir y prolongar la vida útil de las baterías mediante el control térmico, químico y eléctrico.

10.4. Documentos por afiliación institucional

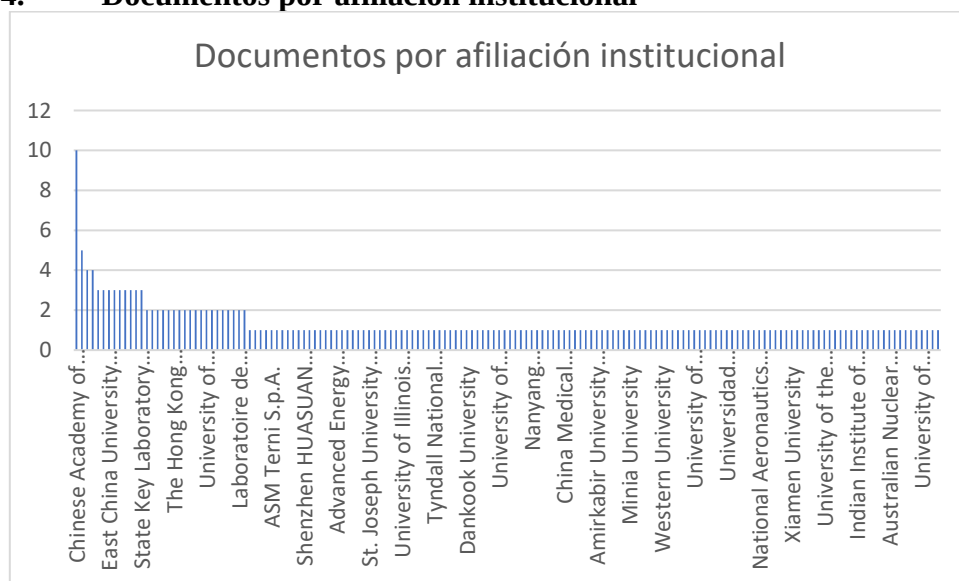


Ilustración 80: Documentos por afiliación institucional

Aquí se mira las instituciones que están liderando en productividad. Algunas de las universidades más destacadas en investigación de baterías son Chinese Academy, East China University y State Key Laboratory, además de centros especializados en pruebas de durabilidad y fiabilidad.

También hay instituciones que colaboran con fabricantes de autos y empresas de reciclaje. Los centros más importantes suelen tener laboratorios enfocados en realizar ciclos acelerados de carga, análisis mediante espectroscopía y pruebas de larga duración, que son esenciales para validar nuevos materiales y diseños.

10.5. Documentos por país o territorio

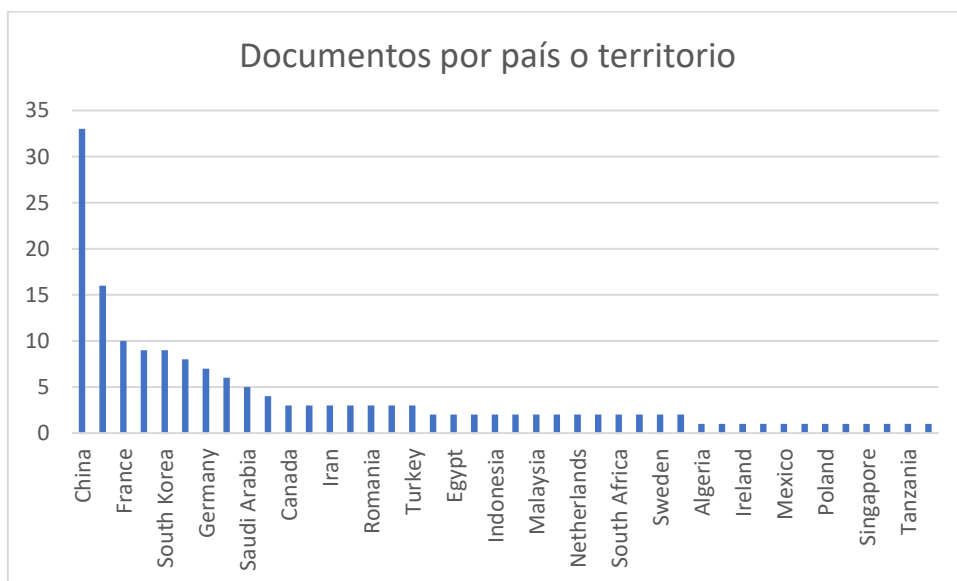


Ilustración 81: Documentos por país o territorio

Aquí se tiene un vistazo de cómo están distribuidas las publicaciones científicas en diferentes países. China ocupa el primer lugar con bastante diferencia, seguida por Francia, Corea del Sur, Alemania, Arabia Saudita y Canadá. Sin embargo, algunos países en Europa y África no participan mucho, a pesar de que muestran interés en reutilizar baterías.

10.6. Documentos por tipo



Ilustración 82: Documentos por tipo

Aquí se comparte un resumen de las publicaciones por tipo. La mayoría son artículos científicos, tanto experimentales como computacionales. También hay revisiones que explican cómo ocurre la degradación, además de



artículos presentados en conferencias, donde se muestran avances en software para predicción y mantenimiento preventivo.

10.7. Documentos por área temática

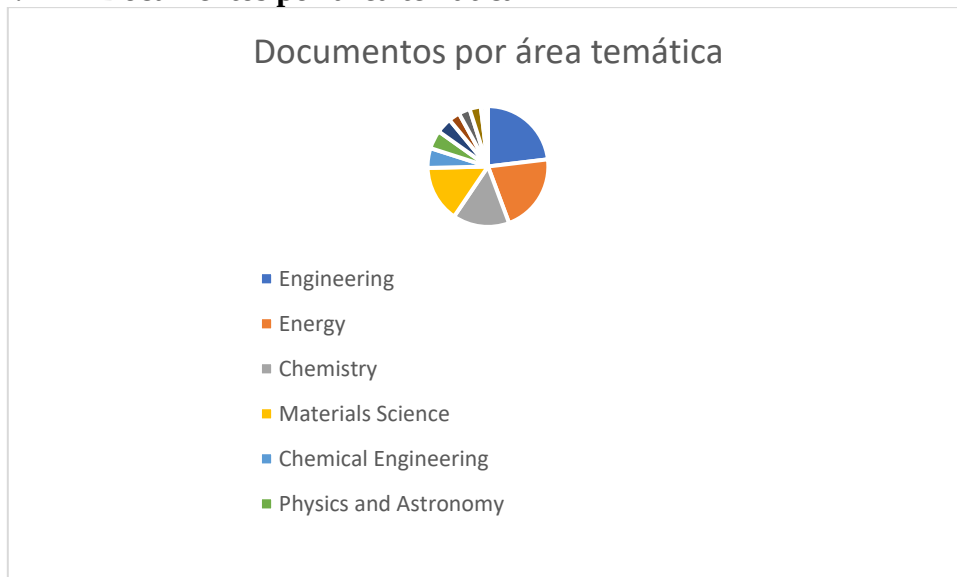


Ilustración 83: Documentos por área temática

Aquí se comparte una visión general de cómo se clasifican las publicaciones en este tema. Las áreas principales incluyen Ciencia de Materiales, Electroquímica, Ingeniería Energética, Física del Estado Sólido y Modelado Computacional. Además, también participa la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la predicción de cuándo un dispositivo dejará de funcionar.

Para entender esto mejor, es importante recordar que la vida útil de un elemento depende de muchos factores interrelacionados, y por eso se estudia desde diferentes perspectivas: físicas, químicas, térmicas y ahora también predictivas.

10.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

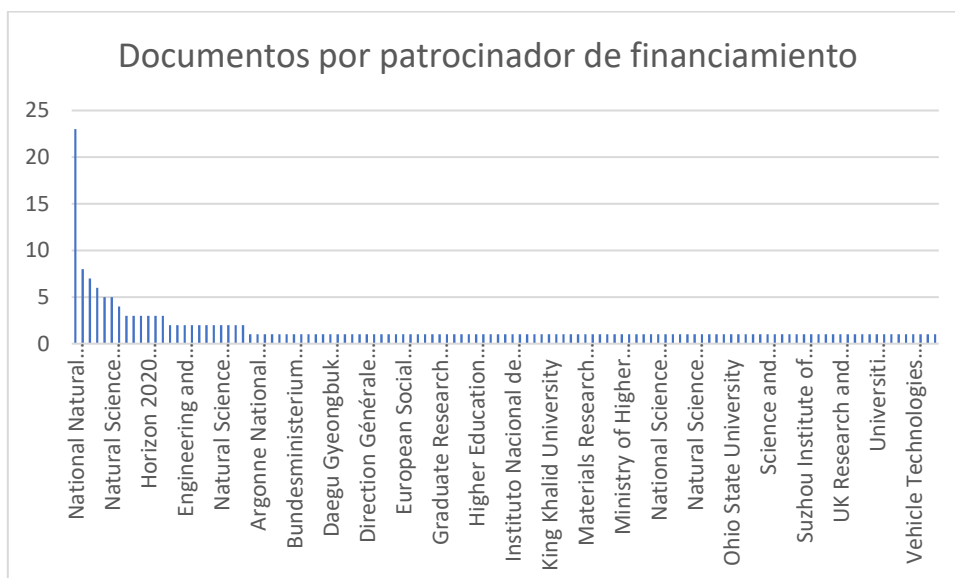


Ilustración 84: Documentos por patrocinador de financiamiento

Entre ellos destacan la NSFC de China, el DOE de Estados Unidos, la Comisión Europea y otras agencias que se ocupan de la transición energética, la movilidad sostenible y el reciclaje. Además, algunos de los informes parecen estar relacionados con proyectos de baterías de segunda vida, particularmente en Europa.

Esto muestra que la financiación refleja una preocupación global por hacer que las baterías sean más duraderas y circulares, que son fundamentales para que el transporte eléctrico y las microrredes sean viables y sostenibles.

11. Battery thermal management AND vehicle

11.1. Documentos por año



Ilustración 85: Documentos por año

La gráfica ilustra cómo han cambiado las publicaciones sobre gestión térmica de baterías a lo largo del tiempo.

- 2007–2014: Fue la etapa inicial, con muy pocos artículos publicados cada año (menos de 10). En aquel entonces, la disipación térmica apenas mostraba interés en las baterías pequeñas.
- 2015–2019: Se registró un aumento considerable, especialmente con el crecimiento de los vehículos eléctricos, donde controlar la temperatura empezó a ser clave para asegurar buen rendimiento, seguridad y mayor duración.
- 2020–2024: La tendencia creció mucho más, y en 2024 ya se superaron los 105 artículos publicados.

Esto muestra cuán importante se ha vuelto manejar bien la temperatura en diferentes tipos de baterías, como las Li-ion, LiFePO_4 , las de estado sólido y las tecnologías más nuevas.

11.2. Producción por año según revistas

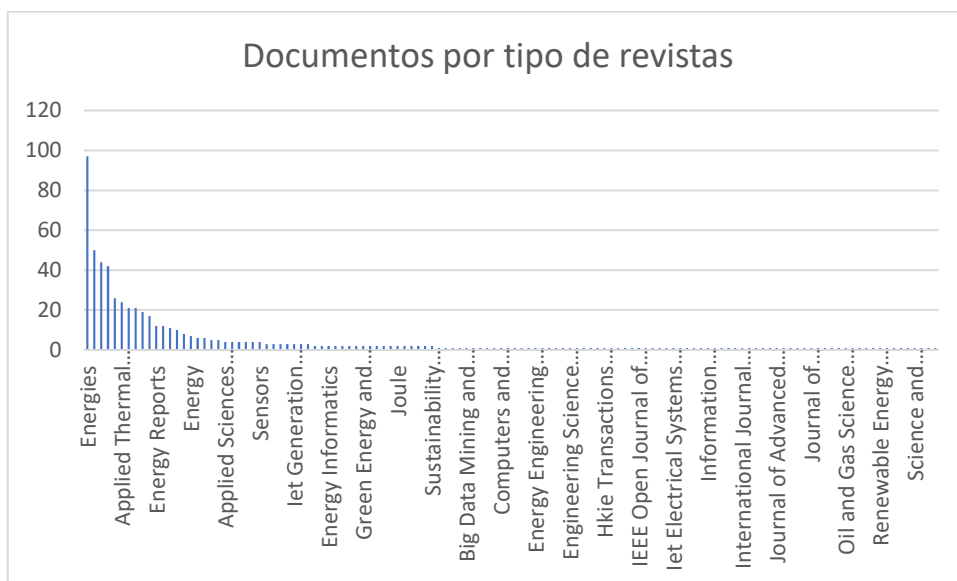


Ilustración 86: Producción por año según revistas

Aquí se tiene algunas revistas relevantes en este tema. Entre ellas se encuentran Energies, Applied Thermal, Energy Reports. Muchas de estas publicaciones abordan temas desde diferentes disciplinas, combinando áreas como dinámica de fluidos, transferencia de calor, diseño de estructuras y simulaciones CFD.

En cuanto a la interpretación, la gestión térmica se estudia principalmente desde la ingeniería aplicada y la computacional, buscando soluciones prácticas como disipación pasiva, refrigeración líquida, materiales de cambio de fase (PCM) y ventilación forzada.

11.3. Documentos por autor

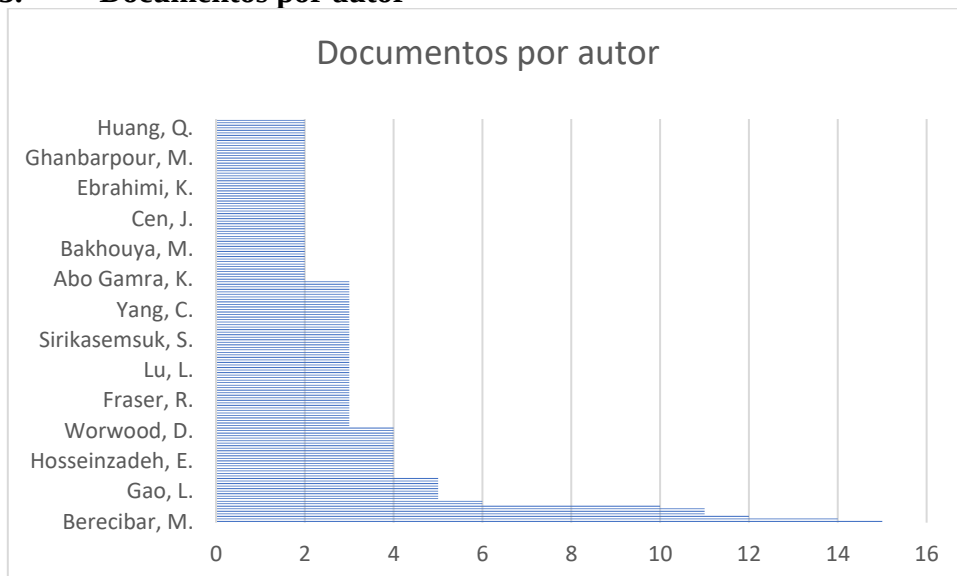


Ilustración 87: Documentos por autor



Hay que pensar en quiénes son los investigadores que están más activos en esta área. La mayoría son expertos en temas como modelado térmico, simulaciones con múltiples parámetros y en el diseño de sistemas HVAC para packs de baterías. También hay investigadores que se enfocan en vehículos eléctricos, aviación y en baterías usadas para almacenamiento solar.

Esto muestra que el liderazgo en investigación se centra en soluciones térmicas integradas que mejoran el rendimiento y hacen las operaciones más seguras.

11.4. Documentos por afiliación institucional

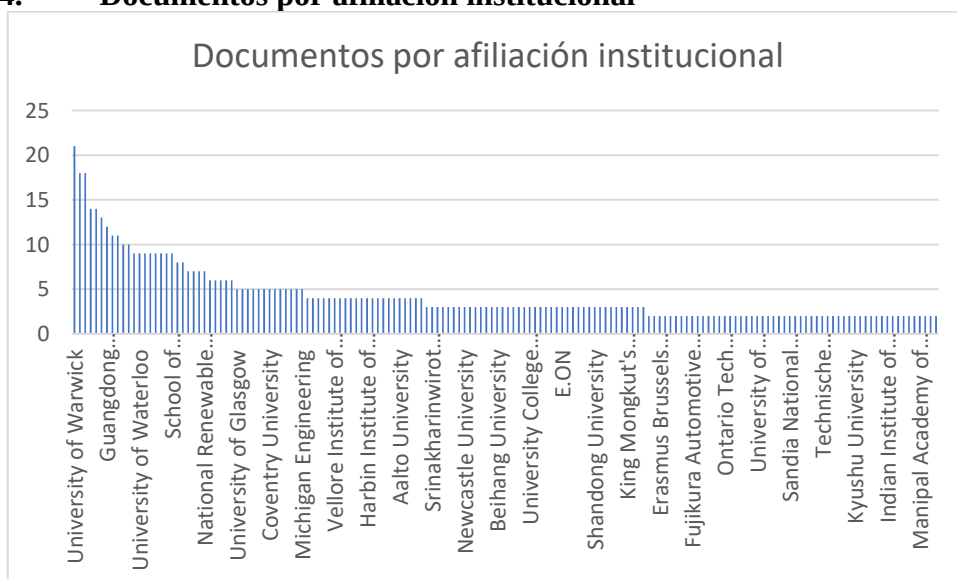


Ilustración 88: Documentos por afiliación institucional

Aquí se puede ver las instituciones que están haciendo el mayor impacto en este campo. Las universidades técnicas e de ingeniería como University of Warwick, Guangdong, University of Waterloo y School, están a la cabeza. Además, muchas publicaciones provienen de departamentos de ingeniería mecánica y térmica que colaboran con fabricantes de baterías.

Básicamente, las instituciones que tienen más experiencia en transferencia de calor, simulación por computadora y en el diseño de sistemas energéticos complejos son las que realmente marcan la diferencia.

11.5. Documentos por país o territorio

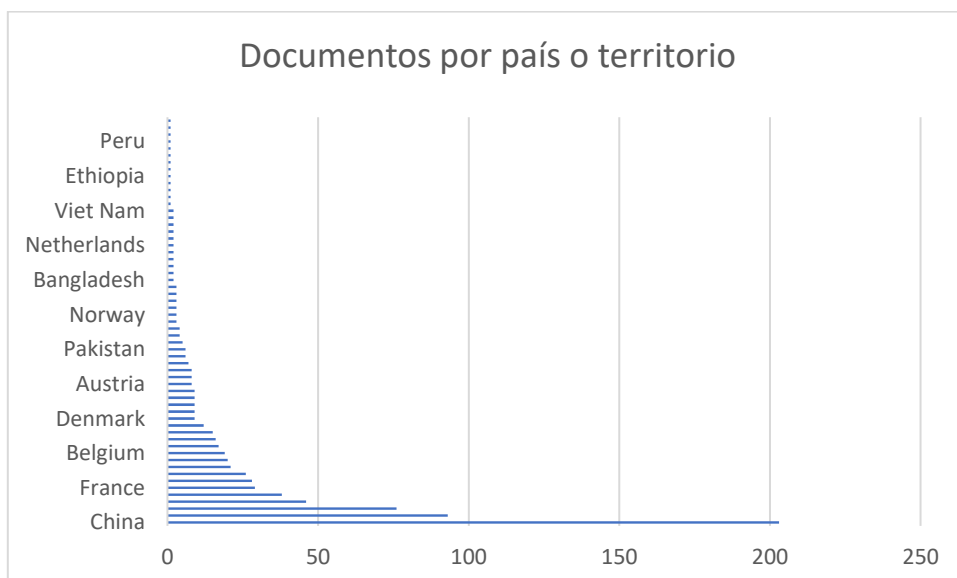


Ilustración 89: Documentos por país o territorio

Los países que más producen en este sector son China, que claramente lidera, seguido por Francia, Bulgaria, Austria y Pakistán. También, Europa tiene una presencia fuerte gracias a proyectos como Bangladesh y diversas alianzas industriales.

Los países que tienen industrias avanzadas en vehículos, trenes y almacenamiento de energía son los que más invierten en soluciones térmicas para baterías. Esto demuestra qué regiones están apostando más por la innovación y el desarrollo en estas áreas.

11.6. Documentos por tipo

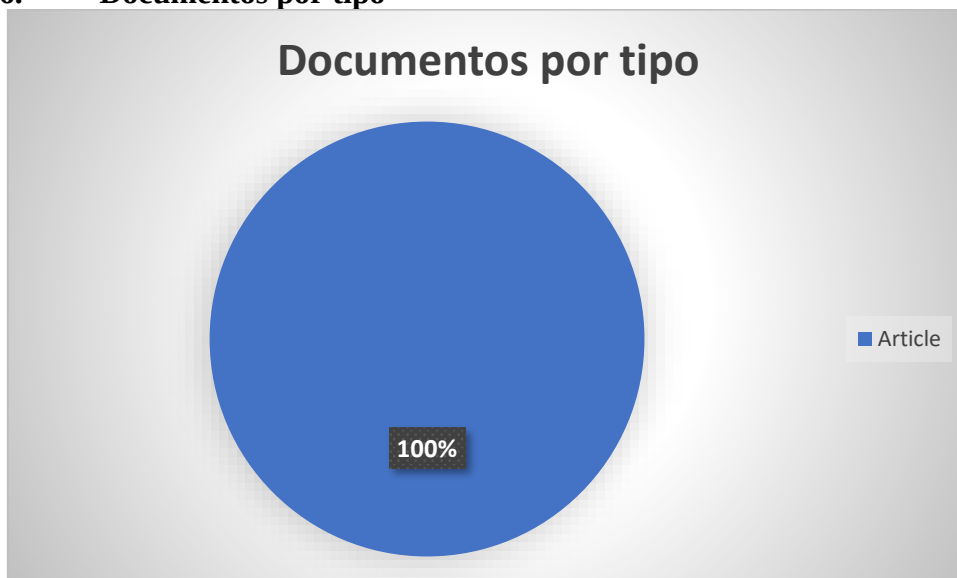


Ilustración 90: Documentos por tipo



El tipo de publicaciones que predominan en este campo son principalmente artículos técnicos y simulaciones experimentales. Además, hay una buena cantidad de papers de conferencias, probablemente porque son más aplicables a corto plazo. También se ven revisiones relacionadas con técnicas tanto de refrigeración activa como pasiva.

En realidad, estamos hablando de un área que ya está bastante avanzada y se enfoca en aplicaciones prácticas. Hay una fuerte conexión entre el modelado, la validación y el diseño de sistemas térmicos para baterías reales, lo que demuestra que se trata de un campo que combina investigación y desarrollo activo.

11.7. Documentos por área temática

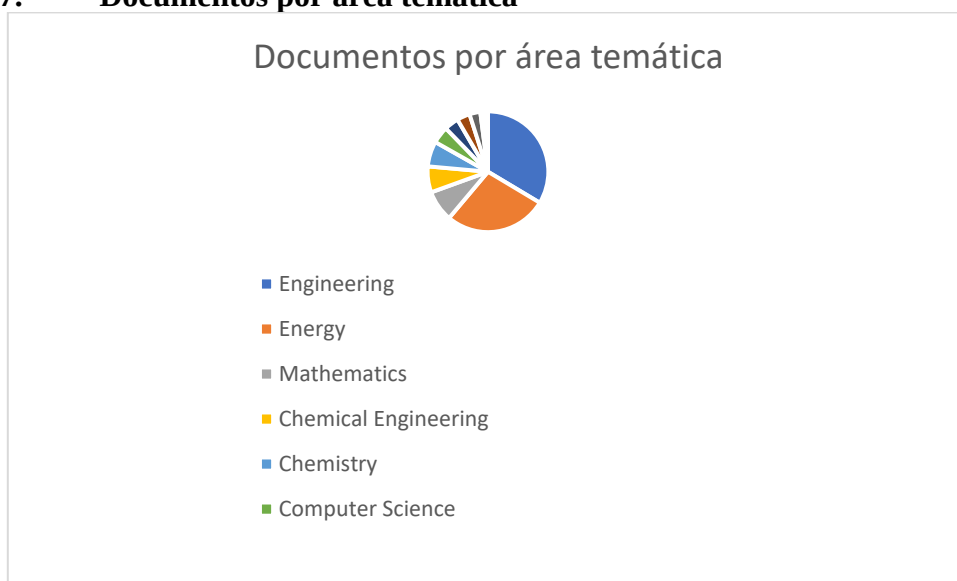


Ilustración 91: Documentos por área temática

Aquí tienes una visión general de las categorías principales de las publicaciones. Los temas más destacados incluyen Ingeniería térmica, Energía, Ingeniería mecánica, Electroquímica aplicada y Simulación computacional (CFD). Además, también se aborda la nanotecnología, especialmente en estudios sobre materiales conductores con excelente rendimiento térmico.

11.8. Documentos por patrocinador de financiamiento



Ilustración 92: Documentos por patrocinador de financiamiento

Se han identificado diferentes fuentes de financiamiento.

- Hay fondos gubernamentales disponibles, como los de la NSFC, el DOE y la Comisión Europea. Además, apoyan con recursos a fabricantes de autos como Tesla, GM y BYD, así como a consorcios como *Battery 2030+*.
- También se mencionan agencias relacionadas con la aeroespacial y la defensa.

La gestión de la temperatura en los vehículos y tecnologías relacionadas es muy importante, especialmente en vehículos eléctricos, sistemas de almacenamiento a gran escala y baterías de última generación. Esto tiene que ver con que mantiene la seguridad y evita riesgos.

12. Battery safety AND thermal runaway

12.1. Documentos por año

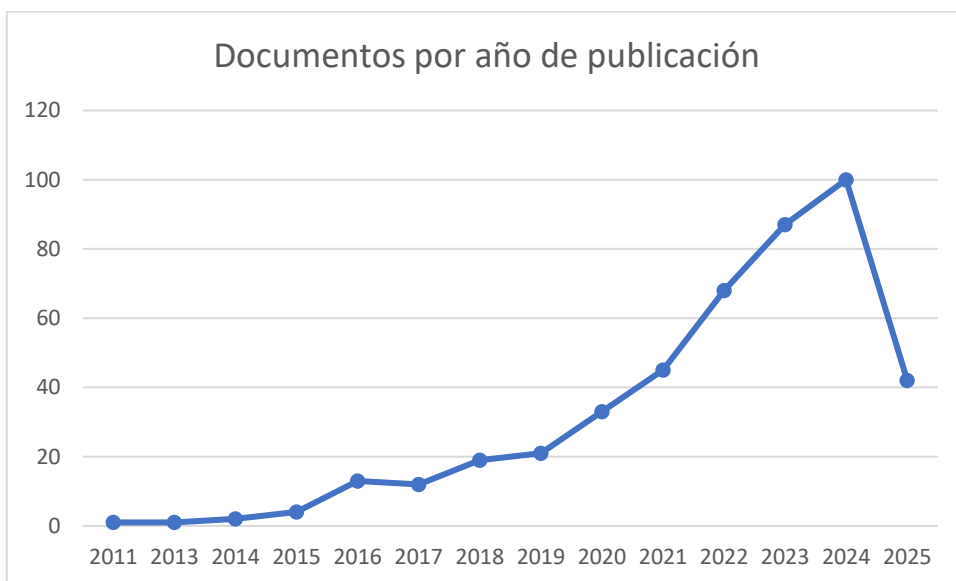


Ilustración 93: Documentos por año

La gráfica ilustra cuántas publicaciones se han realizado cada año sobre la vida útil de las baterías, un aspecto fundamental para usos a largo plazo como coches eléctricos, almacenamiento en el hogar y sistemas industriales.

- Desde 2011 hasta 2015, hubo muy pocas investigaciones, con menos de 5 artículos cada año. En ese entonces, la vida útil no era un tema principal, sino más bien una propiedad secundaria en comparación con la densidad de energía.
- De 2016 a 2019, vimos un aumento moderado en el número de investigaciones, principalmente debido a que más personas usan autos eléctricos y la necesidad de entender cómo se deterioran.
- El interés aumentó significativamente entre 2020 y 2024, con más de 100 publicaciones en 2024. Este aumento está en línea con la búsqueda de aumentar el número de veces que se puede cargar y descargar una batería, comprender cómo la temperatura y la química afectan su desgaste y extender su vida útil durante el funcionamiento.

12.2. Producción por año según revistas

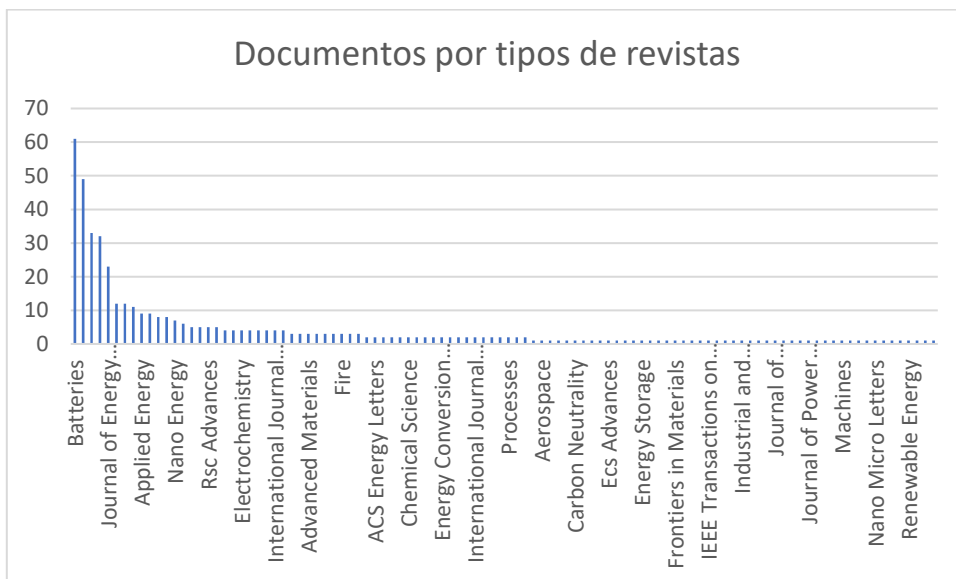


Ilustración 94: Producción por año según revistas

Aquí se tiene una lista de las revistas que más publicaciones han dedicado a este tema. Entre las más destacadas están el Batteries, Journal of Energy y Applied Energy. También hay artículos publicados en revistas relacionadas con la confiabilidad de sistemas, como IEEE Transactions on Reliability.

12.3. Documentos por autor

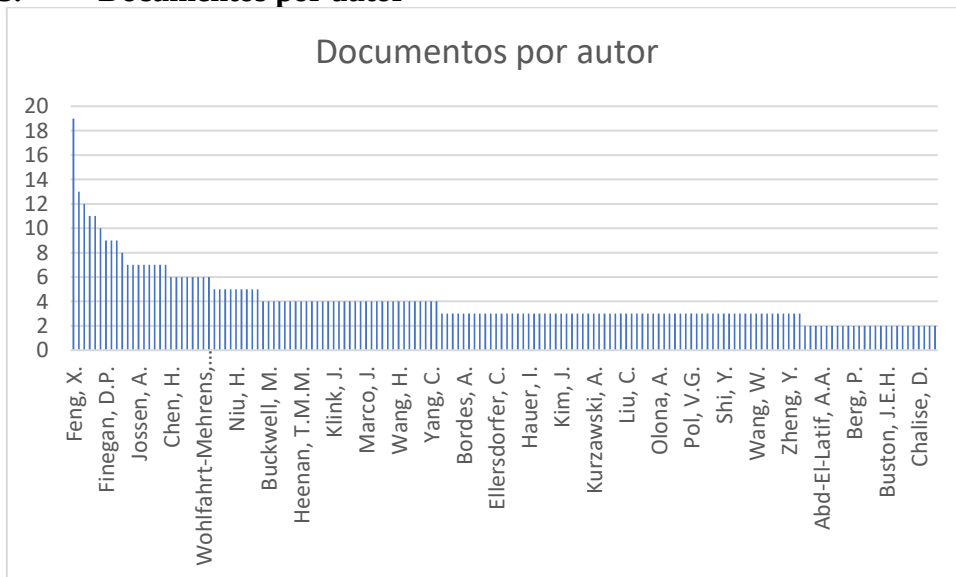


Ilustración 95: Documentos por autor

Aquí se presentan a los investigadores más activos en este campo. Muchos de ellos se concentran en áreas como modelado de ciclos de vida, física de materiales o electroquímica del envejecimiento. Algunos grupos también trabajan en tecnologías para rejuvenecer las baterías o en métodos para diagnosticar su estado de salud (SoH).



12.4. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 96: Documentos por afiliación institucional

Aquí analizamos las instituciones que están más a la vanguardia en producción. Entre ellos se incluyen universidades que se centran en las baterías, como la Universidad de Tsinghua, el MIT y la RWTH Aachen, así como centros que prueban la durabilidad y confiabilidad de la tecnología. También hay algunas instituciones que trabajan directamente con fabricantes de automóviles y empresas de reciclaje.

Las principales instituciones cuentan con laboratorios especializados en pruebas rápidas de estrés, análisis espectroscópicos y pruebas de larga duración. Todo esto es clave para comprobar si los nuevos materiales y diseños funcionan y son seguros.

12.5. Documentos por país o territorio

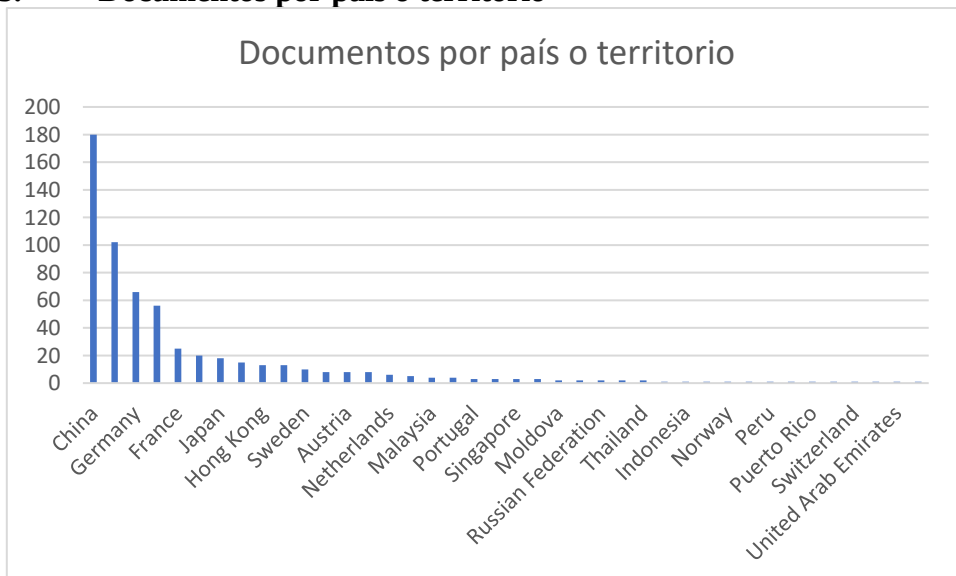


Ilustración 97: Documentos por país o territorio



Aquí se tiene una mirada general sobre cómo se distribuyen las publicaciones científicas en diferentes países. China tiene la mayor cantidad, claramente destacada, seguida por Francia, Alemania, Hong Kong, Japón y algunos países de la Unión Europea. Sin embargo, varios países latinoamericanos y africanos participan en menor medida, a pesar de su interés en temas como la reutilización de baterías.

12.6. Documentos por tipo

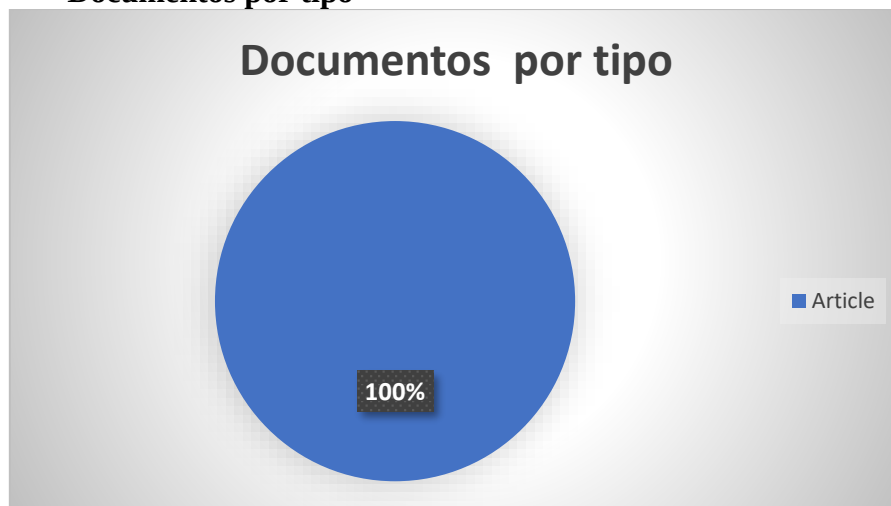


Ilustración 98: Documentos por tipo

Aquí hay una visión general de los tipos de publicaciones en el campo. La mayoría son artículos científicos experimentales y computacionales. También hay revisiones que explican cómo ocurren los procesos de degradación, además de conferencias donde presentan los últimos avances en software para predicción y mantenimiento preventivo.

12.7. Documentos por área temática

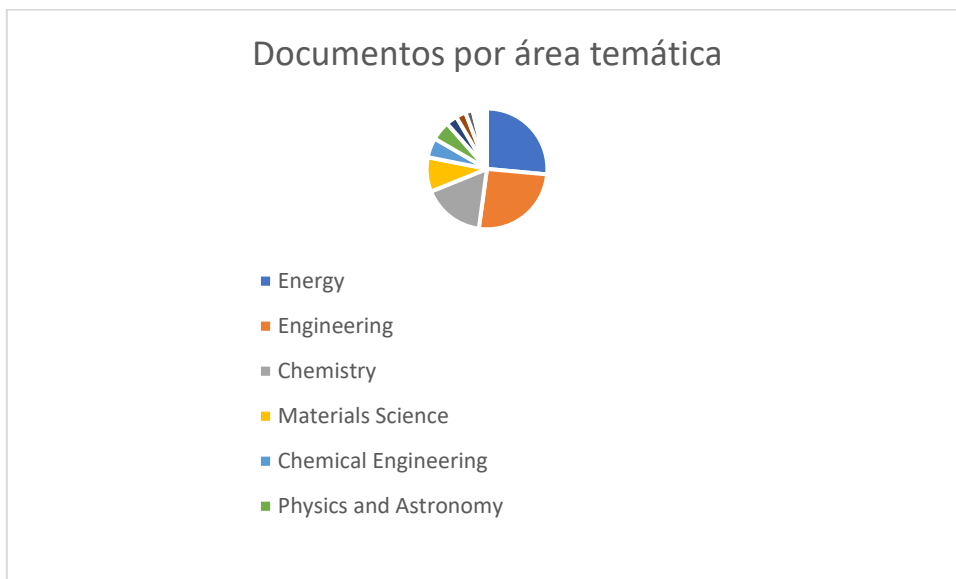


Ilustración 99: Documentos por área temática

Aquí se comparte una clasificación sencilla de las publicaciones según su temática. Las principales áreas son: ciencia de materiales, electroquímica, ingeniería energética, física del estado sólido y modelado computacional. Además, también participamos en temas relacionados con inteligencia artificial y machine learning, especialmente en la predicción de la vida útil de los equipos o componentes.

La vida útil de un objeto o material no depende de una sola causa; en realidad, es un parámetro que resulta del trabajo conjunto de factores físicos, químicos, térmicos y, más recientemente, predictivos. Por eso, en las investigaciones, abordamos la vida útil desde diferentes enfoques para tener un panorama más completo.

12.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

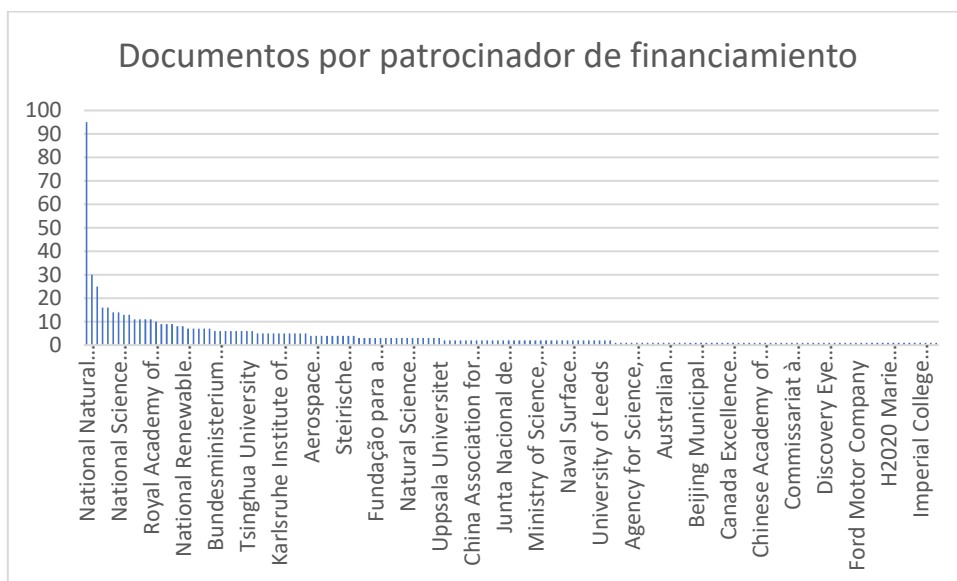


Ilustración 100: Documentos por patrocinador de financiamiento

Hay determinadas instituciones que financian la investigación sobre la duración de las baterías. Las principales fuentes de financiación son NSFC (China), DOE (EE. UU.), Comisión Europea y otras agencias relacionadas con temas como la transición energética, la movilidad sostenible y el reciclaje.

Además, algunos de los informes parecen estar relacionados con proyectos de baterías de segunda vida, particularmente en Europa. Esto indica que existe un interés global en la duración de las baterías y la economía circular, aspectos clave que hacen viables los vehículos eléctricos y las microrredes.

13. Battery cost AND electric vehicles

13.1. Documentos por año

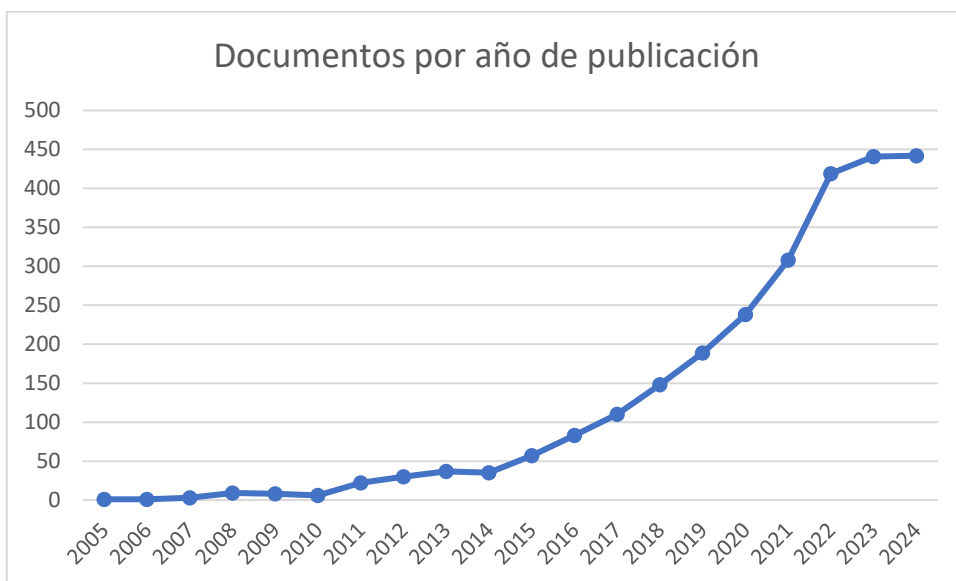


Ilustración 101: Documentos por año

La gráfica ilustra cómo han evolucionado las publicaciones sobre el costo de las baterías en vehículos eléctricos (EVs), un aspecto clave para que esta tecnología llegue a más personas.

- Durante 2005 a 2012, la cantidad de investigaciones fue bastante baja (menos de 30 artículos cada año), porque en ese momento el mercado de EV aún estaba empezando y el costo de las baterías no era un tema que se estudiara mucho fuera del ámbito industrial.
- De 2013 a 2018, las emisiones comenzaron a aumentar de manera sostenida, coincidiendo con una disminución significativa en el precio del kWh, que cayó de alrededor de \$1.000 en 2010 a menos de \$1.000 en 2018. Ya entre 2019 y 2024, vimos un crecimiento aún mayor con más de 440 artículos en 2024.

Esto representa interés en alcanzar el umbral de 100 dólares por acción. kWh, que se considera importante para que los coches eléctricos puedan competir con los de gasolina.

13.2. Producción por año según revistas



Ilustración 102: Producción por año según revistas

Aquí se tiene algunas de las revistas más activas en esta área. Entre ellas están: Energies, Transportation, Energy Policy e IEEE Transactions. Estas revistas abordan temas relacionados con la energía, la economía y las políticas públicas, además de enfocarse en sostenibilidad y avances tecnológicos.

13.3. Documentos por autor

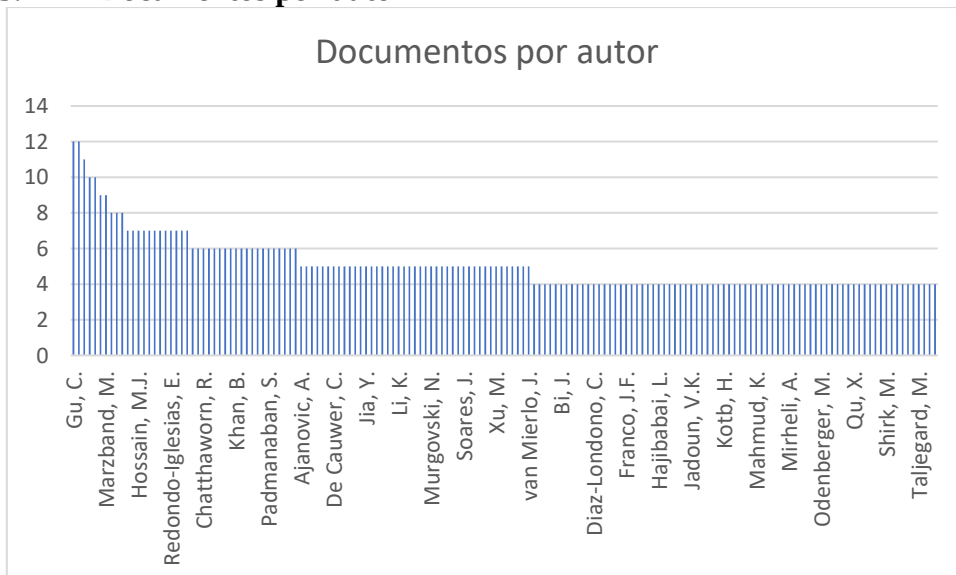


Ilustración 103: Documentos por autor

Los autores más activos en la investigación tienden a ser economistas especializados en energía, analistas enfocados en políticas tecnológicas y expertos en el cálculo de costos nivelados (LCOE, LCOS). También hay



ingenieros que realizan estimaciones del costo de cada componente, basándose en las estructuras físicas de las baterías.

En cuanto a su interpretación, el liderazgo en investigación lo tienen especialistas que analizan si los vehículos eléctricos (EVs) son comercialmente viables y cómo evolucionan en comparación con el mercado de combustibles fósiles, siempre pensando en un crecimiento a escala industrial.

13.4. Documentos por afiliación institucional

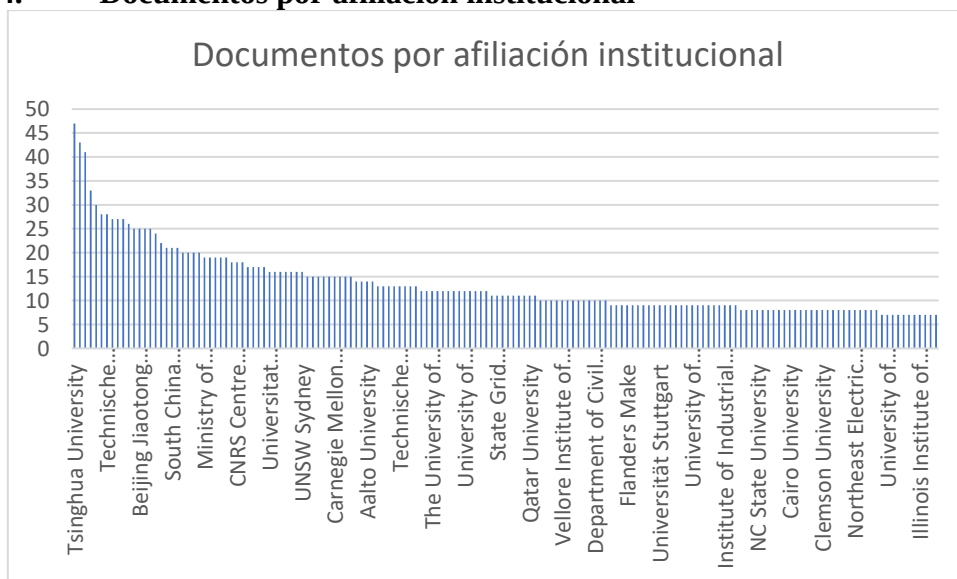


Ilustración 104: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones que están más activas en este campo incluyen centros como el Tsinghua University, Technisched, Beijing Jiaotong, South China. Estas organizaciones se dedican a realizar simulaciones para entender cómo escalar tecnologías, desarrollar escenarios de costos futuros y diseñar políticas que incentiven a la industria.

13.5. Documentos por país o territorio

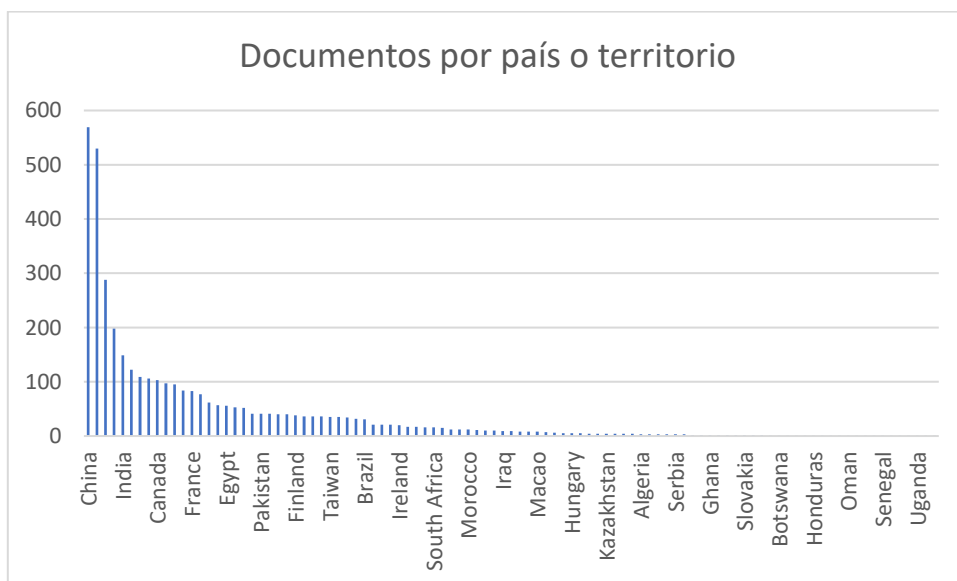


Ilustración 105: Documentos por país o territorio

La distribución geográfica muestra que China, India y Canadá están a la cabeza, seguidos por Francia, Egipto, Pakistán, Finlandia y Taiwán. Países emergentes como Sud África y Brasil empiezan a destacar debido a su interés en electrificar el transporte público de manera más económica.

13.6. Documentos por tipo

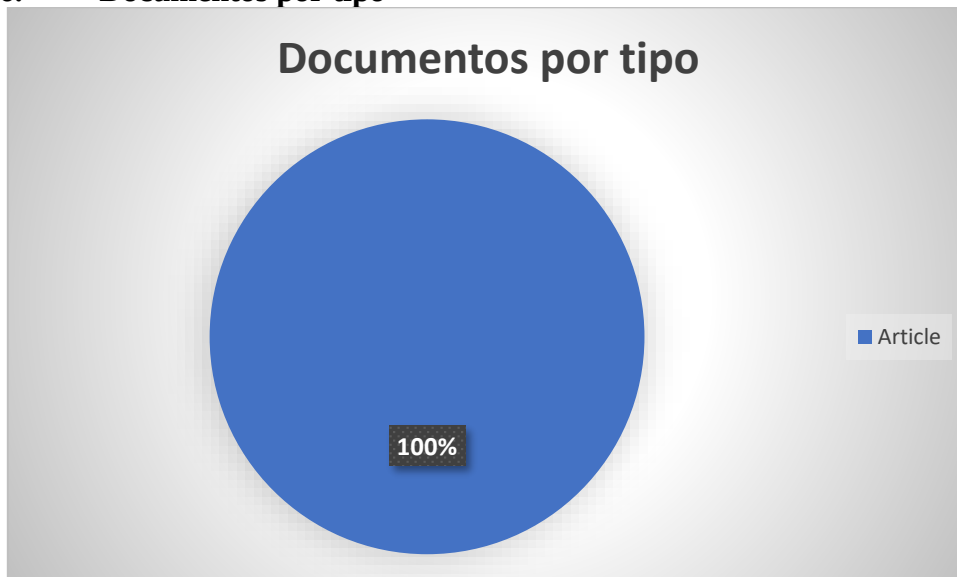


Ilustración 106: Documentos por tipo

Aquí se comparte un resumen sobre los diferentes tipos de publicaciones en este campo. La mayoría son artículos donde se revisan temas o se hacen análisis técnico-económicos, además de trabajos presentados en conferencias que tratan sobre proyecciones del mercado. Algunos de estos artículos también se enfocan en analizar cómo podrían variar los costos en



el futuro, considerando diferentes escenarios de políticas y avances tecnológicos.

13.7. Documentos por área temática

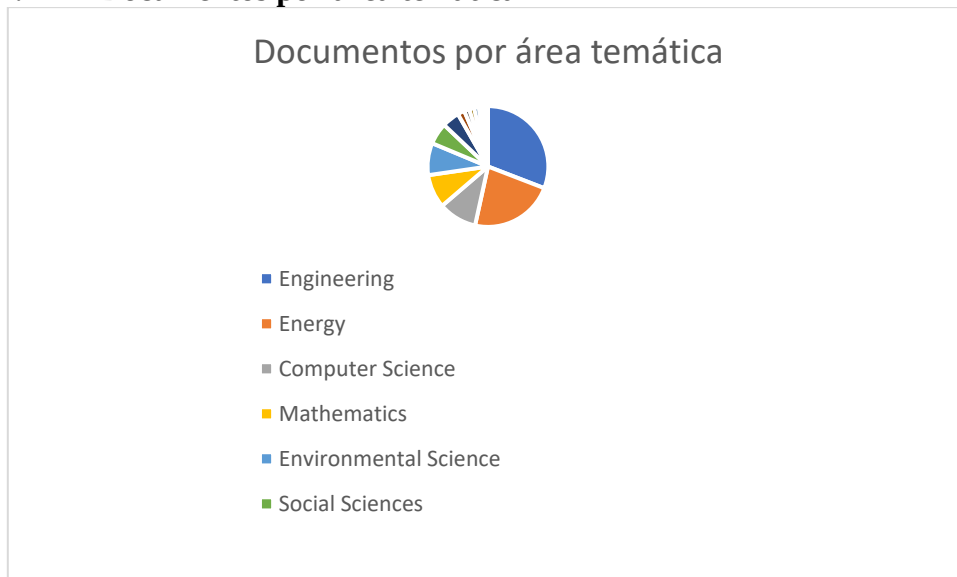


Ilustración 107: Documentos por área temática

Aquí se tiene una descripción más sencilla y natural del tema: Hablamos de diferentes áreas relacionadas con la energía y la tecnología. Algunas de las principales son la economía energética, la ingeniería industrial, cómo la energía afecta a la sociedad, la política en temas tecnológicos y los sistemas eléctricos. También se incluyen estudios sobre cadenas de suministro y cómo las dependencias geopolíticas, como en China, África o América del Sur, influyen en todo esto.

13.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

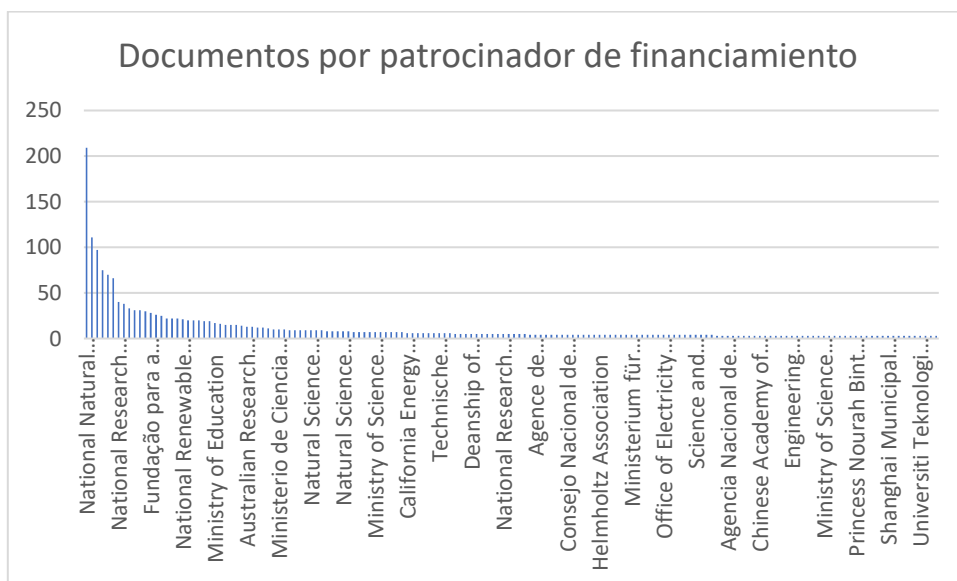


Ilustración 108: Documentos por patrocinador de financiamiento

Las fuentes de financiamiento incluyen varias instituciones importantes. Por ejemplo, están la DOE de Estados Unidos, la NSFC de China, la Comisión Europea con programas como Horizon Europe y el Green Deal, además de agencias como la IEA y organizaciones no gubernamentales que trabajan en temas de movilidad limpia. También, algunos proyectos reciben apoyo económico de fabricantes de autos y empresas que proveen sistemas de energía.

14. Battery recycling AND lithium-ion

14.1. Documentos por año



Ilustración 109: Documentos por año



La gráfica muestra cómo han evolucionado las publicaciones científicas sobre el reciclaje de baterías de iones de litio en vehículos eléctricos (EVs).

- En el período de 2010 a 2018, la cantidad de publicaciones fue muy baja, con menos de 13 al año, porque los coches eléctricos todavía estaban en sus inicios.
- Luego, entre 2019 y 2022, empezó a aumentar de forma constante, llegando a unos 107 artículos al año 2022, debido al crecimiento de los EVs y la necesidad de recuperar componentes clave como litio, cobalto, níquel y manganeso al final de la vida útil de las baterías.
- Desde 2022 hasta 2024, la cantidad de investigaciones se aceleró mucho, superando las 180 publicaciones en 2024.

Esto se debe a varias razones: las preocupaciones ambientales por los residuos peligrosos, la escasez y el aumento en los precios de metales estratégicos, y las nuevas regulaciones sobre economía circular.

14.2. Producción por año según revistas

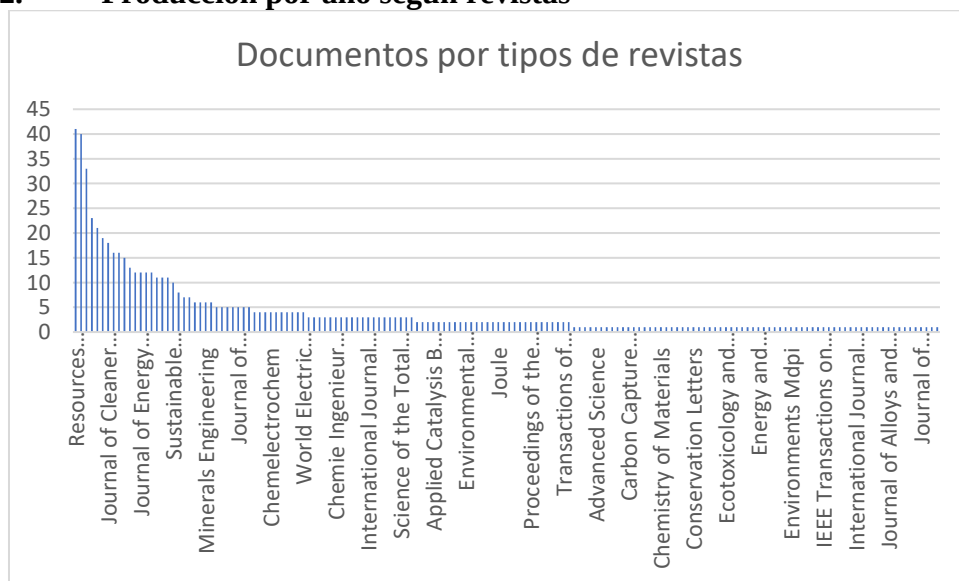


Ilustración 110: Producción por año según revistas

Estas son algunas de las principales revistas que cubren este tema: entre ellas se destacan el *Journal of Cleaner Production*, *Resources, Conservation & Recycling*, *Waste Management*, *Journal of Power Sources* y *Green Chemistry*. Algunas de estas publicaciones se enfocan en tecnologías como la hidrometalurgia, pirometalurgia y procesos mecánicos combinados.



En general, el reciclaje de baterías se analiza desde la perspectiva de la ingeniería de procesos, la química verde y el análisis del ciclo de vida (LCA), siempre con una visión integral.

14.3. Documentos por autor

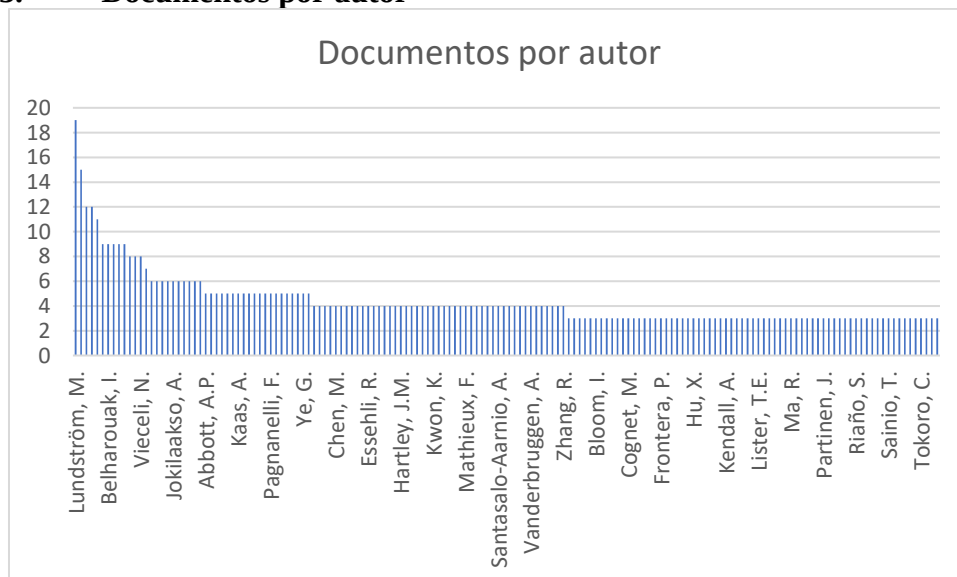


Ilustración 111: Documentos por autor

Los investigadores más activos en este campo son aquellos que trabajan en procesos de recuperación de metales, optimización de la lixiviación, separación de electrodos y reutilización de componentes. También hay expertos en leyes ambientales y en las políticas públicas relacionadas con el reciclaje.

Para entender mejor, se puede decir que la innovación y el liderazgo en estos temas vienen de equipos con diferentes conocimientos, como ingeniería química, ingeniería ambiental y economía circular. Ellos están desarrollando tecnologías que hacen más sostenible el reciclaje, tanto en la etapa primaria como en la secundaria.

14.4. Documentos por afiliación institucional

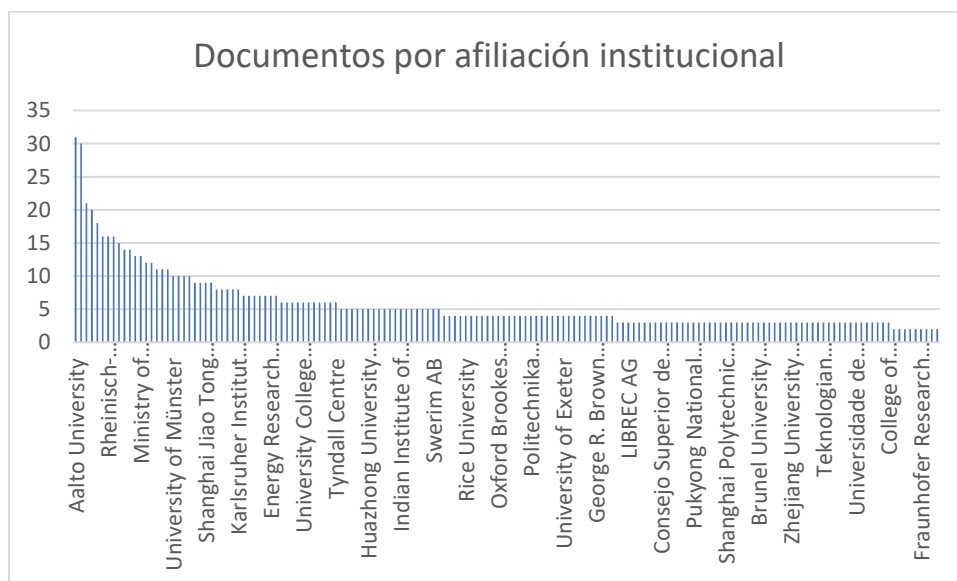


Ilustración 112: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones que lideran en producción científica son bastante destacadas. Entre ellas se encuentran universidades como la Aalto University, Rheinisch Westfälische, Ministry of Education, University of Münster y la Chinese Academy of Sciences. También participan centros de recursos minerales y centros dedicados a la innovación en temas ambientales.

Estas instituciones combinan laboratorios de química aplicada con conocimientos en regulación ambiental, logística inversa y diseño para desmontaje (DfD).

En resumen, trabajan en entender cómo hacer la ciencia y la ingeniería de manera que ayude al medio ambiente y sea práctica para el reciclaje y el desmontaje de equipos y materiales.

14.5. Documentos por país o territorio

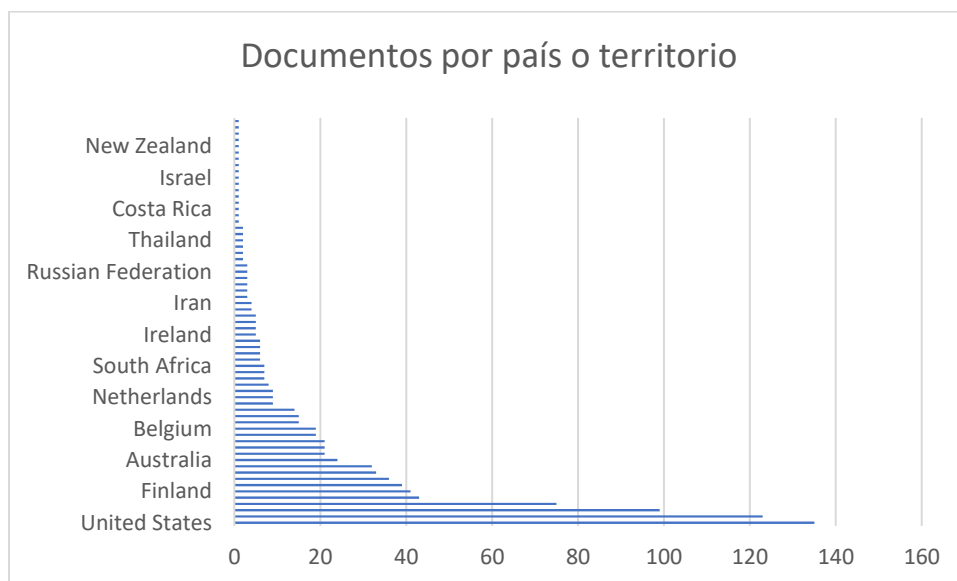


Ilustración 113: Documentos por país o territorio

Aquí se tiene una visión general de la distribución por países. Estados Unidos lidera en este tema, impulsando proyectos de reciclaje a través de métodos hidrometalúrgicos y trabajando en nuevas regulaciones. Le siguen, Finlandia, Austria, Bélgica, y los países nórdicos, donde las políticas de economía circular están mucho más avanzadas. Por otro lado, América Latina tiene poca, casi nula participación en esta tendencia, a pesar de ser una fuente importante de litio y cobalto.

La cantidad de publicaciones en este campo muestra una diferencia notable entre los países que extraen estos minerales y los que se enfocan en reciclarlos. Esto representa un desafío importante desde los aspectos ético, económico y ambiental

14.6. Documentos por tipo



Ilustración 114: Documentos por tipo

La ilustración muestra el análisis de los tipos de publicaciones:

- La mayor parte son artículos científicos y tecnológicos que aportan ideas importantes en conferencias sobre sostenibilidad y baterías.
- También hay reseñas sistemáticas que abordan temas como el costo energético del reciclaje, la recuperación de materiales y las políticas públicas relacionadas.

La bibliografía muestra una tendencia de crecimiento en madurez, con publicaciones que mezclan tecnología aplicada, modelos de negocios circulares y nuevas normativas ambientales.

14.7. Documentos por área temática

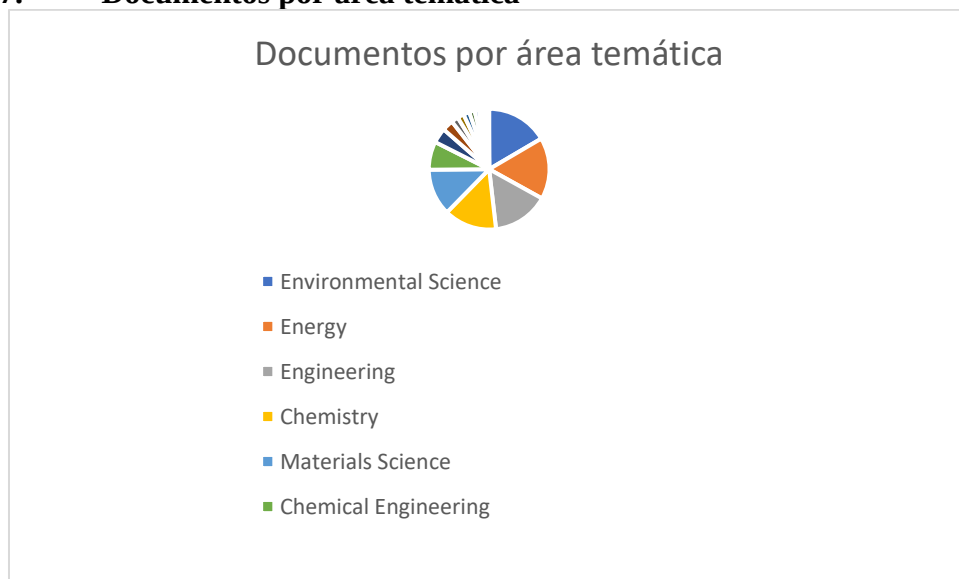


Ilustración 115: Documentos por área temática



La clasificación por áreas de conocimiento abarca distintos campos como se muestran en esta ilustración. Entre los principales están la ingeniería ambiental, la química verde, la ciencia de materiales, la energía y la química. Además, también se consideran aspectos como el análisis económico y de sostenibilidad, así como las simulaciones para evaluar el impacto ambiental.

14.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

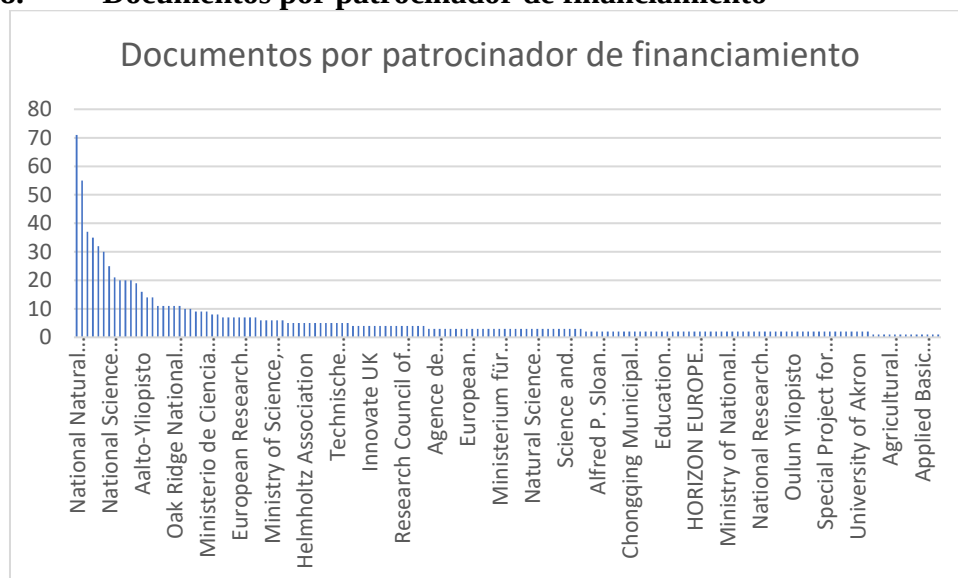


Ilustración 116: Documentos por patrocinador de financiamiento

En esta ilustración se muestra las fuentes de apoyo financiero:

- Estas incluyen: *National Nature*, *National Science*, Aalto-Yliopisto y fondos destinados a la recuperación sostenible.
- También existen programas de empresas del sector automotor (Volkswagen, Renault, BYD) que fomentan reciclaje en el lugar o a nivel local.

La presión de las leyes y las tendencias por obtener recursos críticos explican por qué tanto los gobiernos como los fabricantes están interesados en tecnologías avanzadas de reciclaje.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

15.1. Documentos por año



Ilustración 117: Documentos por año

Esta gráfica muestra cómo han evolucionado las publicaciones sobre las baterías de litio-azufre (Li-S).

- Desde 2010 hasta 2013, la investigación era todavía bastante incipiente, con menos de 2 documentos por año. En ese tiempo, la tecnología todavía estaba en desarrollo, enfrentando problemas como la durabilidad en ciclos y la estabilidad.
- De 2014 a 2017, vimos un claro crecimiento, especialmente cuando los investigadores lograron avances en materiales catódicos y encapsulación de azufre. En 2017 ya se publicaron más de 25 artículos cada año.
- De 2020 a 2024 la investigación entró en una fase de crecimiento más consolidado, alcanzando más de 47 publicaciones en 2024.

Esto refleja el gran interés en esta química, principalmente debido a su potencial para ofrecer una densidad de energía teórica de alrededor de 2600 Wh/kg, muy por encima de las baterías de iones de litio de alrededor de 300 Wh/kg.

15.2. Producción por año según revistas

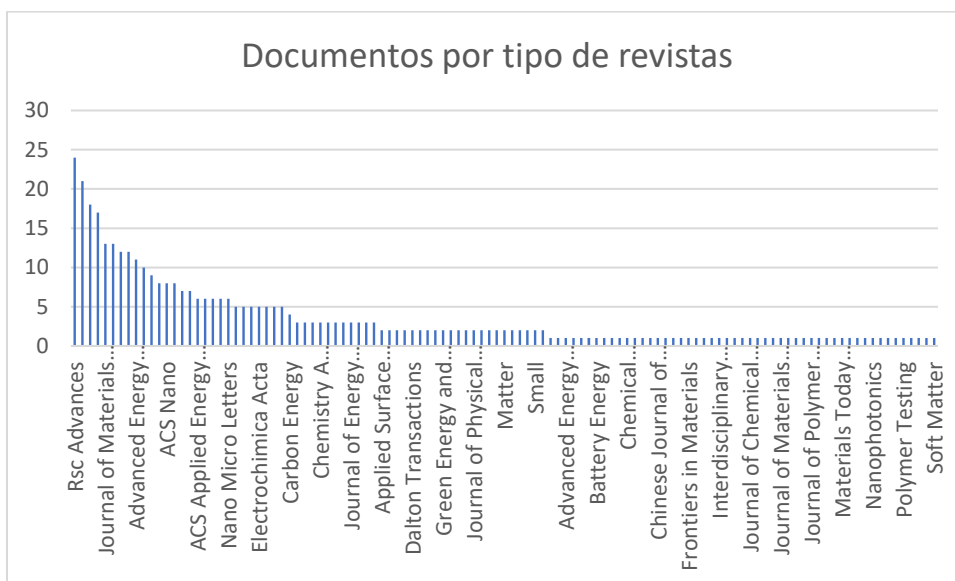


Ilustración 118: Producción por año según revistas

La mayoría de las investigaciones sobre Li-S se publican en revistas principales como Rsc Advances, Journal of Materials, Advanced Energy, ACS Nanotechnology y ACS Applied Energy. También hay publicaciones en revistas que se centran en nanotecnología y ciencia de polímeros, ya que muchos trabajos abordan temas como estructuras porosas, catálisis y encapsulados.

La mayor parte de la investigación aparece en revistas de alto impacto, lo que demuestra un interés global en el tema y un enfoque muy centrado en la experimentación y materiales avanzados.

15.3. Documentos por autor

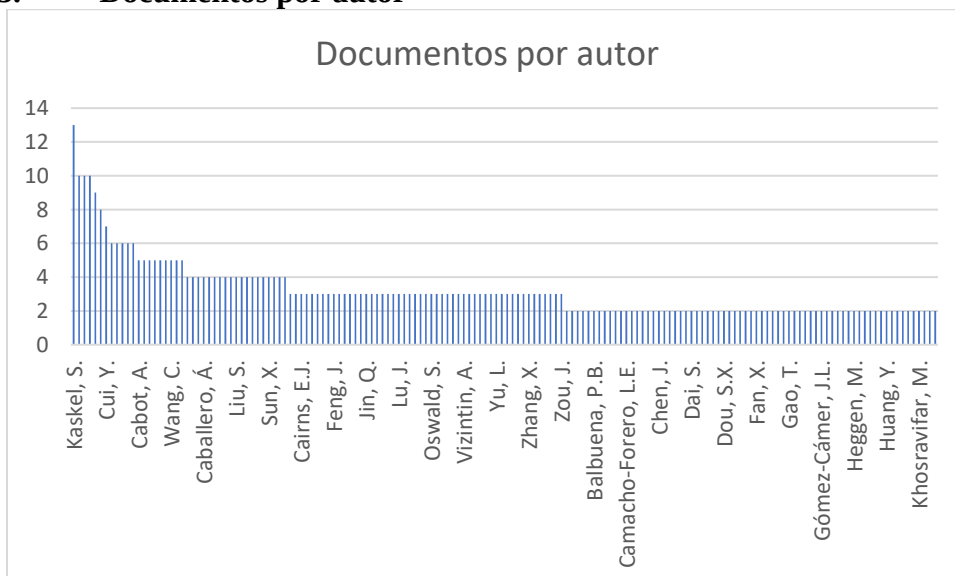


Ilustración 119: Documentos por autor



Aquí se tiene una lista de los autores más productivos en este campo. Muchos de ellos son expertos en catalizadores, nanotubos de carbono, electrolitos sólidos o recubrimientos funcionales, y están enfocados en mejorar la estabilidad durante los ciclos de carga y descarga del azufre. Se nota una fuerte presencia de investigadores asiáticos, especialmente de China y Corea, pero también hay científicos europeos que trabajan en consorcios dedicados a tecnologías de próxima generación.

15.4. Documentos por afiliación institucional

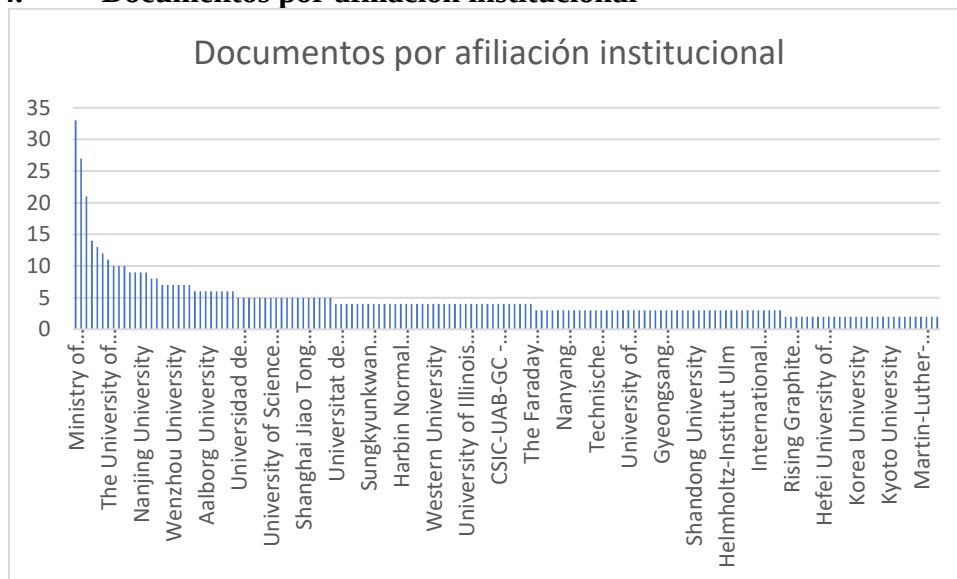


Ilustración 120: Documentos por afiliación institucional

Aquí se muestran las instituciones más activas en este campo. Universidades e institutos como la Dresed University, MIT, la Universidad Tsinghua están entre las más productivas. También algunos startups colaboran con centros de I+D para publicar sus investigaciones.

El desarrollo de las baterías Li-S está principalmente en manos de instituciones que cuentan con infraestructura avanzada para la síntesis, análisis de materiales y fabricación de prototipos de celdas.

15.5. Documentos por país o territorio

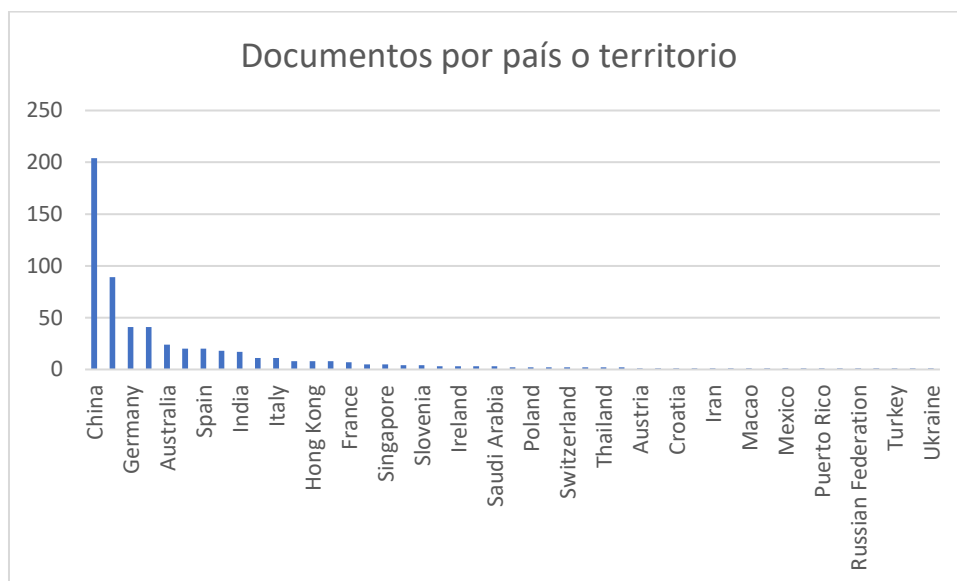


Ilustración 121: Documentos por país o territorio

La distribución geográfica de las publicaciones muestra que China está claramente a la cabeza, seguida por Alemania, Australia, España e India. Además, Italia está ganando peso en la escena, impulsada por su interés en tecnologías alternativas a las baterías Li-ion para sus estrategias energéticas.

Lo que se ve aquí es una carrera global por desarrollar sistemas de almacenamiento de energía cada vez más ligeros y eficientes, con muchos países que lideran en la investigación de nuevos materiales y tecnologías.

15.6. Documentos por tipo

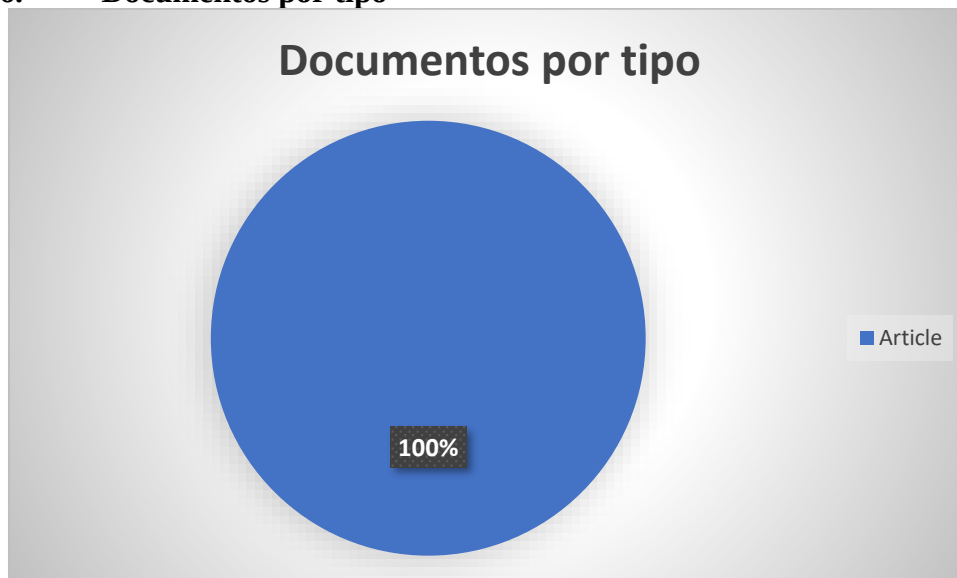


Ilustración 122: Documentos por tipo

La clasificación se hace según el tipo de documento.



- La mayoría son artículos originales de investigación, que se enfocan en probar nuevos compuestos, analizar estructuras de cátodos y desarrollar modelos para entender cómo funcionan los ciclos de carga y descarga.
- También encontramos revistas sistemáticas que resumen los avances más recientes, además de documentos de conferencias que presentan prototipos en desarrollo.

Este es un campo que todavía está creciendo y en buena parte en fase experimental. La comunidad científica trabaja para resolver problemas técnicos clave antes de que estos sistemas puedan ser utilizados comercialmente.

15.7. Documentos por área temática

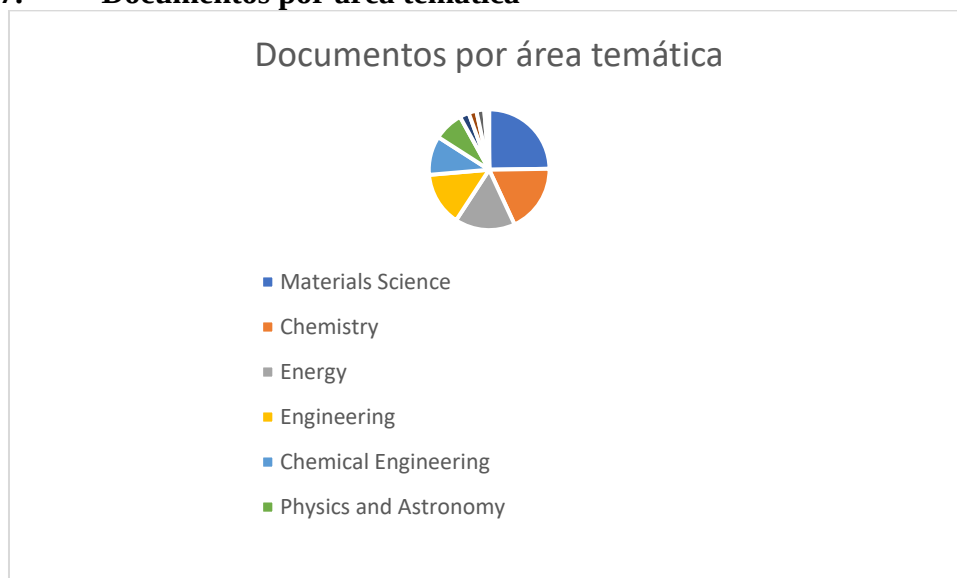


Ilustración 123: Documentos por área temática

La clasificación por área disciplinar muestra que las áreas más fuertes son la ciencia de materiales, electroquímica, nanotecnología e ingeniería energética. Además, hay una cantidad significativa de estudios en química inorgánica y en el diseño de celdas multicapas.

Para entenderlo mejor, esta investigación abarca muchas escalas: desde cómo se diseña molecularmente el electrolito y el encapsulado del azufre, hasta cómo se configura la parte física y mecánica de la celda.

15.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

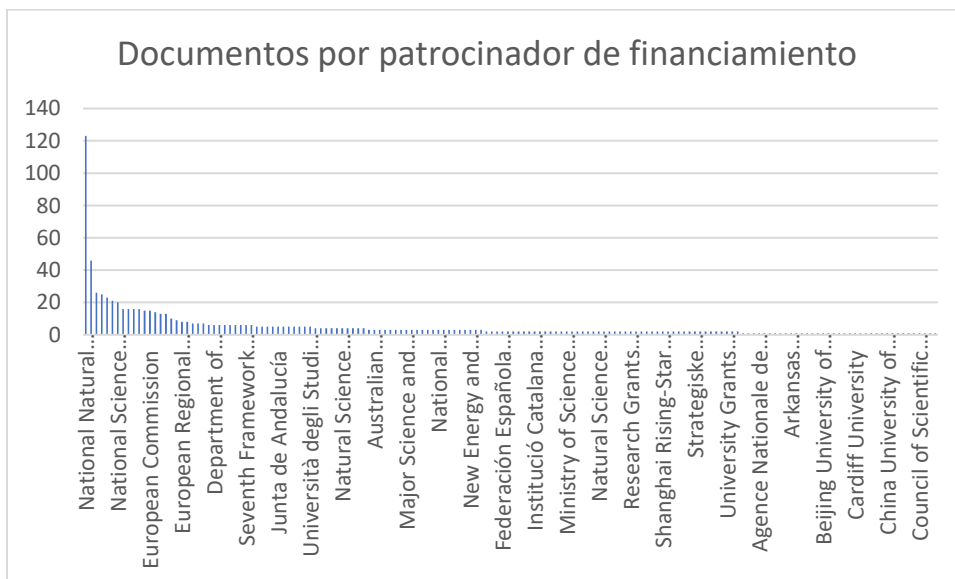


Ilustración 124: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí se puede ver quiénes financian esta línea de investigación. Los principales contribuyentes incluyen NSFC, Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), la Comisión Europea (que apoya iniciativas como Horizonte 2020 y Battery2030), así como algunos proyectos financiados en Alemania y Japón. También están recibiendo financiación las industrias aeroespaciales y de defensa, que buscan baterías ultraligeras y duraderas.

La razón de este interés no es sólo económica, sino también estratégica: una batería de litio-azufre (Li-S) que funcione bien puede revolucionar campos como los drones, la aviación eléctrica, los vehículos ligeros y el almacenamiento espacial, donde cada gramo de peso cuenta.

16. Aluminum-air battery AND mobility

16.1. Documentos por año



Ilustración 125: Documentos por año

La gráfica muestra cómo han ido evolucionando las publicaciones científicas sobre las baterías de aluminio-aire (Al-air).

- Desde 2015 hasta 2017, la producción fue muy poca, con menos de 2 artículos por año. En esa etapa, las investigaciones estaban en la fase inicial, centrándose en la reactividad del aluminio y la corrosión del ánodo.
- De 2018 a 2024, vimos un crecimiento constante, ya que el interés en sistemas de almacenamiento muy ligeros y económicos empezó a hacerse más fuerte, llegando a más de 2 publicaciones cada año.

La tecnología de aluminio-aire ha resurgido como una opción interesante para vehículos de largo alcance, almacenamiento estacionario, y aplicaciones militares o de emergencia. Todo esto se debe a que es accesible y bastante económica.

16.2. Producción por año según revistas

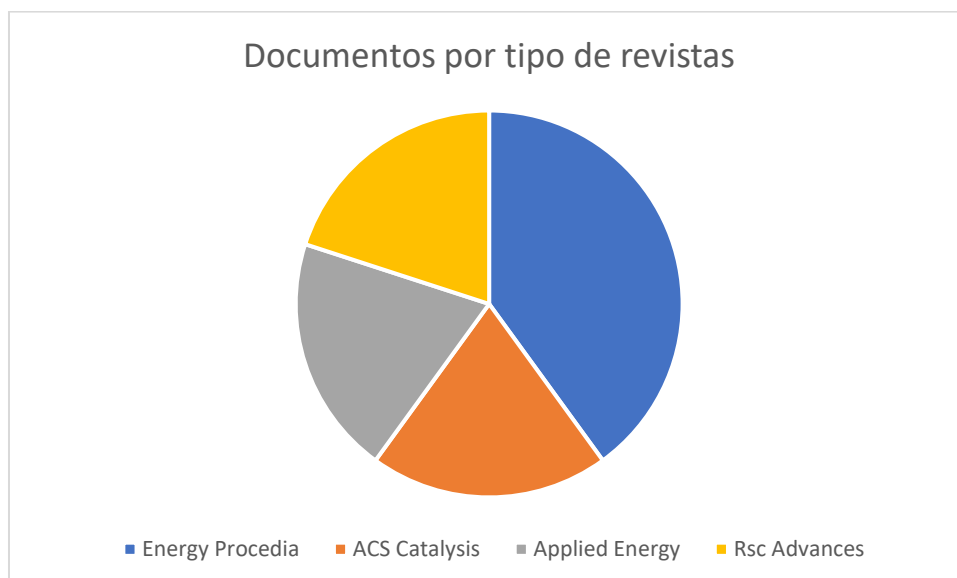


Ilustración 126: Producción por año según revistas

Las revistas más activas en este tema son:

- Destacan: *Energy Procedia*, *ACS Catalysis*, *Applied Energy*, *Rsc Advanced*.

El interés en las baterías de aluminio-aire se centra en el desarrollo de tecnologías electroquímicas, el diseño de celdas abiertas y las aplicaciones energéticas con menor impacto ambiental.

16.3. Documentos por autor

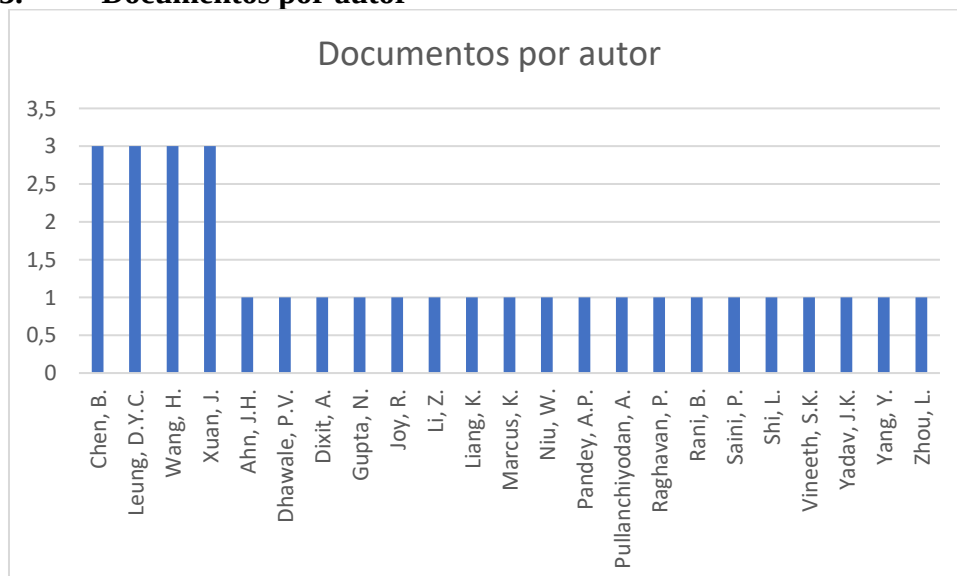


Ilustración 127: Documentos por autor



En esta ilustración están los autores que más producen. La mayoría se enfocan en áreas como la química electroquímica, metales activos, y cómo se comportan los ánodos y cátodos en ambientes húmedos o alcalinos. Algunos también trabajan en desarrollar electrolitos que puedan regenerarse y en ideas para diseñar materiales reciclables.

16.4. Documentos por afiliación institucional

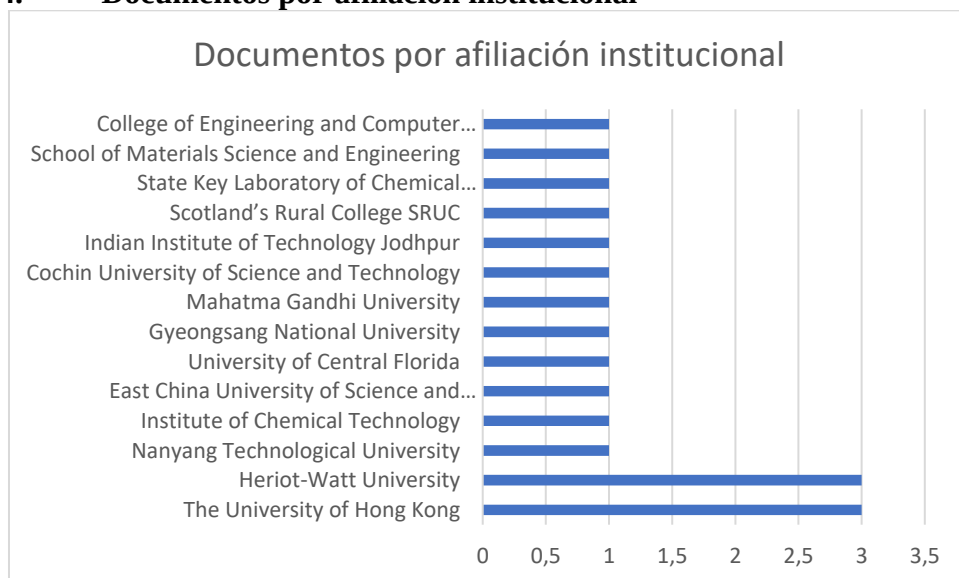


Ilustración 128: Documentos por afiliación institucional

Aquí se mira cuáles son las instituciones que están más activas en la investigación sobre Al-air. Principalmente, destacan centros en China, India y algunos países de Europa. Entre ellos están instituciones como la Academia China de Ciencias, el Instituto Indio de Ciencias y la Universidad de Nantes. Además, algunas colaboraciones pueden involucrar instituciones de defensa o especializados en movilidad.

16.5. Documentos por país o territorio

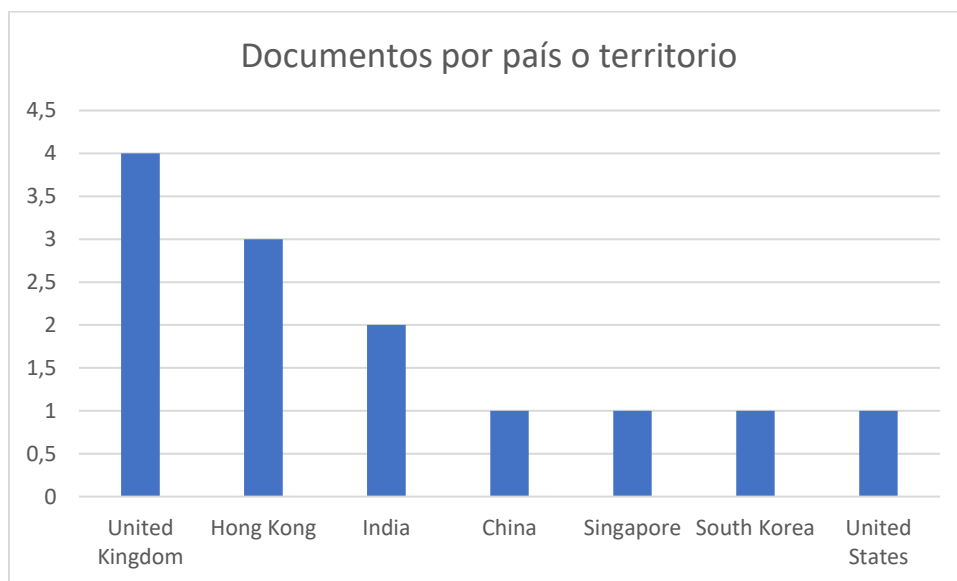


Ilustración 129: Documentos por país o territorio

Aquí se tiene una mirada general sobre la producción científica por país. El Reino Unido lidera claramente por un margen significativo, seguido de Hong Kong, India, China y Singapur. Estados Unidos tiene una presencia más modesta, principalmente en áreas relacionadas con la sostenibilidad o proyectos experimentales.

El liderazgo en el Reino Unido y Hong Kong parece estar vinculado a sus industrias del metal, la disponibilidad de aluminio y la necesidad de soluciones descentralizadas o más adaptadas a cada región..

16.6. Documentos por tipo

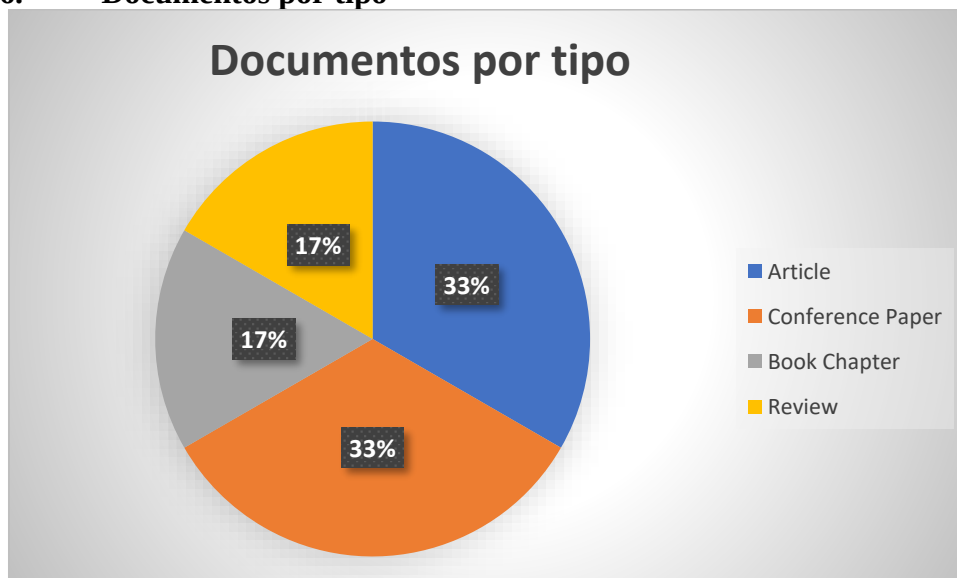


Ilustración 130: Documentos por tipo



Aquí se tiene una idea de cómo se clasifican los documentos en este campo. La mayoría son artículos científicos originales, incluyendo muchos experimentales y de simulación. También hay revisiones y ponencias en conferencias sobre energía alternativa.

Esto da una señal clara: estamos en plena etapa de desarrollo activo, probando conceptos, materiales y diseños, pero aún sin llegar a la producción en masa o a un uso comercial generalizado.

16.7. Documentos por área temática

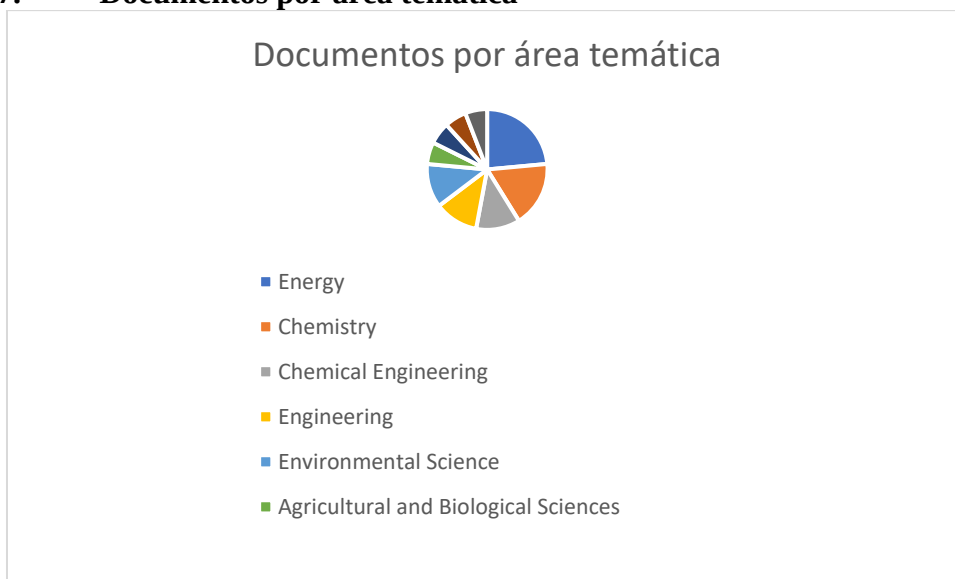


Ilustración 131: Documentos por área temática

En cuanto a la clasificación temática, se encuentra que los temas principales son Energy, Chemistry, Chemical Engineering, Engineering, Environmental Science, Agricultural and Biological Sciences. Además, también hay publicaciones relacionadas con Corrosión, Flujo Electrolítico, y el diseño de sistemas de aire activo o pasivo.

Para el desarrollo de la tecnología Al-air, es importante no solo enfocarse en el diseño de las celdas, sino también en controlar las reacciones secundarias, gestionar los subproductos y asegurar la reciclabilidad

16.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

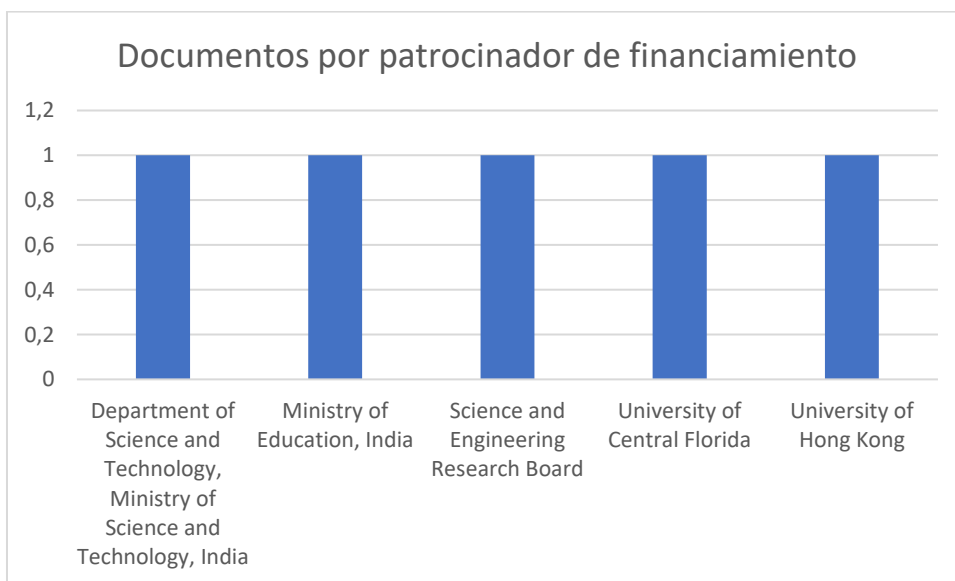


Ilustración 132: Documentos por patrocinador de financiamiento

Este tipo de investigación cuenta con financiamiento proveniente de fondos estatales, como el Ministry of Education India, NSFC, CSIR India y el DOE, además de apoyos de programas universitarios y de defensa. También, algunas investigaciones pueden recibir respaldo de iniciativas para almacenamiento rural o militar, donde se valoran especialmente la autonomía y el bajo mantenimiento.

La inversión en esta tecnología muestra que, aunque todavía no está totalmente en el mercado, genera interés porque tiene una buena relación entre potencia y peso y es económica. Es especialmente atractiva para aplicaciones donde cambiar la celda después de que se agota sigue siendo una opción sencilla y viable.

17. Fast charging AND Li-ion battery

17.1. Documentos por año

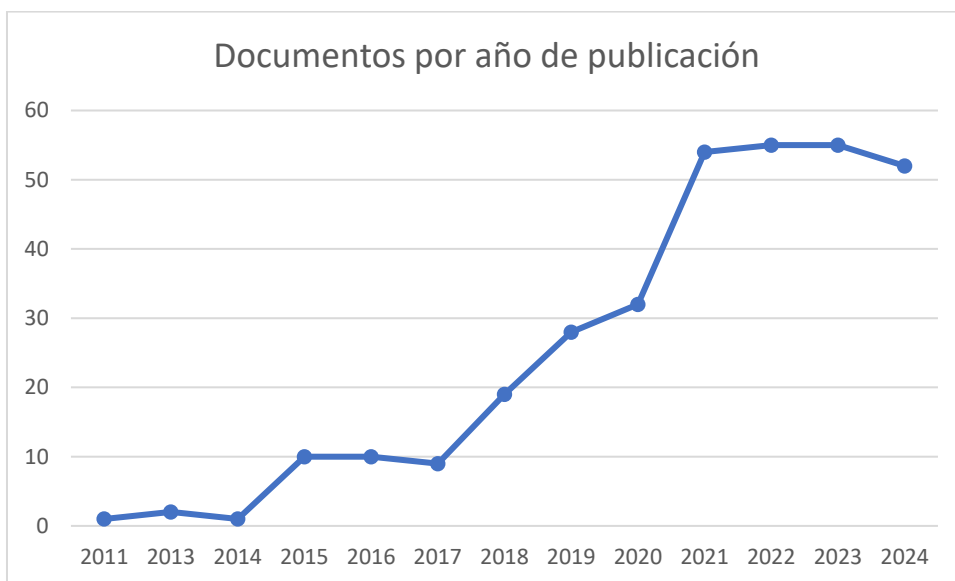


Ilustración 133: Documentos por año

La gráfica muestra cómo han ido creciendo las investigaciones sobre la carga rápida de baterías, un aspecto clave para que los vehículos eléctricos (EV) sean más prácticos en las ciudades y para viajes largos.

- Desde 2011 hasta 2014, la cantidad de estudios fue muy baja, con menos de 2 artículos cada año, ya que en esa época las baterías tardaban mucho en recargarse y no se le prestaba tanta atención a la velocidad de carga.
- De 2015 a 2017, el interés aumentó gradualmente, principalmente debido a la ampliación de la infraestructura de carga y la búsqueda de formas de reducir el tiempo de carga de los coches eléctricos.
- A partir de 2018, el número de investigaciones ha aumentado rápidamente y llegó a más de 50 en 2024. Esto coincide con una estación de carga ultrarrápida (350 kW o más), un nuevo algoritmo para optimizar la carga y el desarrollo de baterías para ciclos rápidos.

17.2. Producción por año según revistas

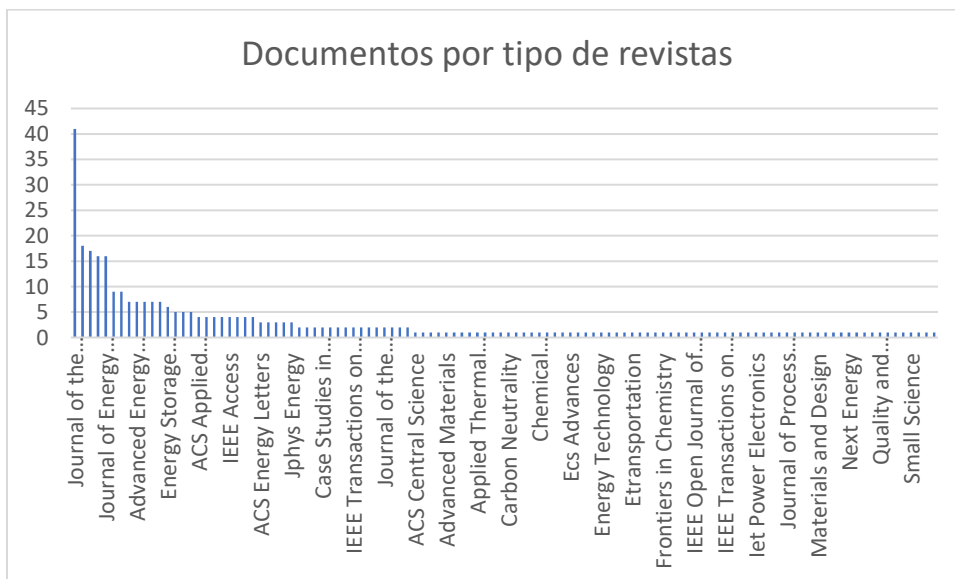


Ilustración 134: Producción por año según revistas

Aquí se tiene las revistas con mayor producción sobre este tema. Encabezan la lista: Journal of the Electrochemical Society, Journal of Power Sources, Applied Energy, Batteries, Energy Storage Materials y Electrochimica Acta.

Además, también aparecen publicaciones relacionadas con control, redes inteligentes y electrónica de potencia. Para entender mejor, podemos decir que el tema es muy multidisciplinario y se aborda desde diferentes enfoques como la electroquímica, la electrónica de potencia, la optimización térmica y el control embebido.

17.3. Documentos por autor

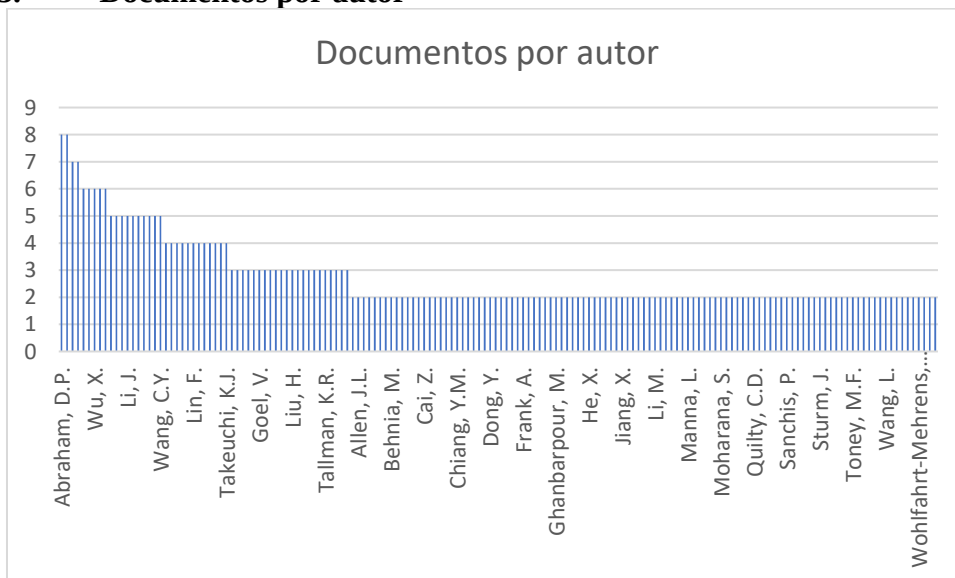


Ilustración 135: Documentos por autor



Los investigadores más activos en este campo están enfocándose en varias áreas. Muchos trabajan en sistemas de gestión de baterías (BMS), desarrollando algoritmos para cargar las baterías de manera más eficiente, y estudiando cómo las cargas rápidas pueden acelerar el desgaste de las celdas. También hay expertos que están investigando en baterías de estado sólido, buscando que sean compatibles con cargadas ultrarrápidas.

En definitiva, la ciencia aquí busca encontrar un equilibrio entre cargar rápido, mantener la vida útil de la batería y garantizar la seguridad térmica.

17.4. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 136: Documentos por afiliación institucional

Líderes en investigación en el mundo académico y tecnológico. Entre las instituciones más productivas se encuentran universidades técnicas como Argonne National Laboratory, National Renewable Energy Laboratory, Chinese Academy of Sciences y Tsinghua University. Muchas de estas colaboran directamente con fabricantes de autos como Tesla, Hyundai y BMW, así como con empresas que se encargan de infraestructura de carga, como ABB y Siemens.

Pues que las instituciones más activas en investigación tienen la capacidad de desarrollar tecnologías completas, como celdas de batería, algoritmos para cargas más eficientes y sistemas de refrigeración rápida, todo en un proceso integrado.

17.5. Documentos por país o territorio

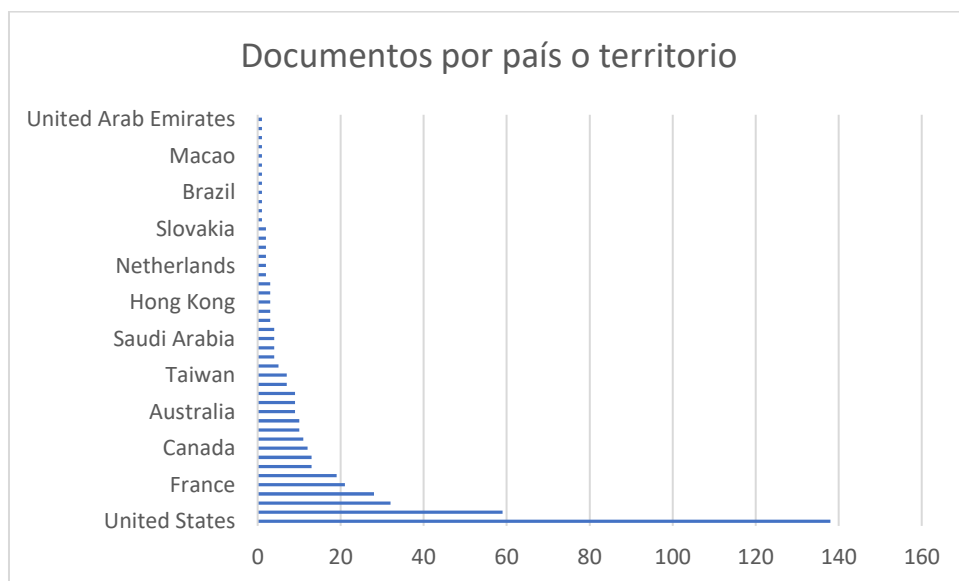


Ilustración 137: Documentos por país o territorio

Aquí se tiene un panorama general sobre la producción de carga rápida por país. Estados Unidos está a la cabeza, seguida por Francia, Canadá, Australia, Taiwan y Arabia Saudita. Además, Países bajos y otros países en desarrollo están empezando a interesarse por adoptar esta tecnología para sus flotas de transporte público.

17.6. Documentos por tipo

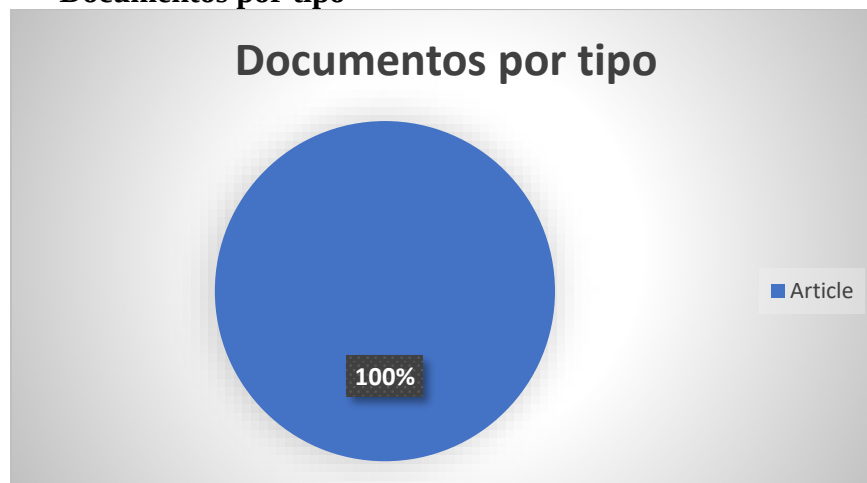


Ilustración 138: Documentos por tipo

El tipo de documentos que se publican suele ser bastante variado. Pero en su defecto la mayoría son artículos científicos, principalmente papers de conferencias técnicas (como IEEE o SAE), y también hay algunas revisiones sistemáticas. La mayoría de estos trabajos incluyen validaciones prácticas, simulaciones térmicas y análisis de cómo la velocidad afecta la degradación del sistema.



Este campo está muy orientado a aplicaciones prácticas. Hay una fuerte conexión entre lo que investigan, el desarrollo en la industria y la puesta en marcha en condiciones reales

17.7. Documentos por área temática

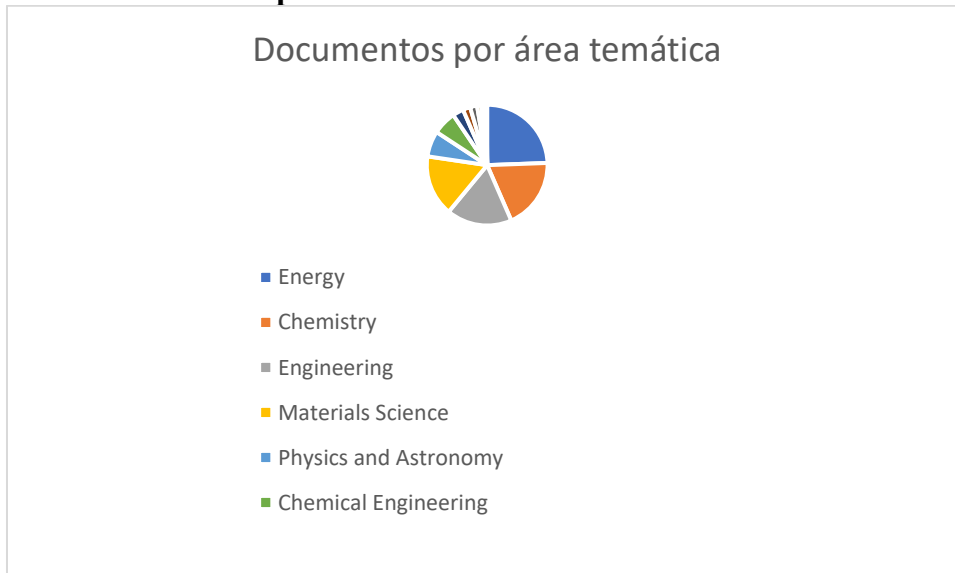


Ilustración 139: Documentos por área temática

Las áreas más activas en la investigación incluyen:

- Destacan especialmente: Energy, Chemistry, Engineering, Materials Science, Physics and Astronomy y Chemical Engineering.
- También hay trabajo importante en logística urbana, redes de carga y electromovilidad.

La carga rápida es un reto que afecta a todo el sistema, ya que requiere tanto mejorar la batería y su hardware como administrar la energía de manera eficiente en ciudades y vehículos.

17.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

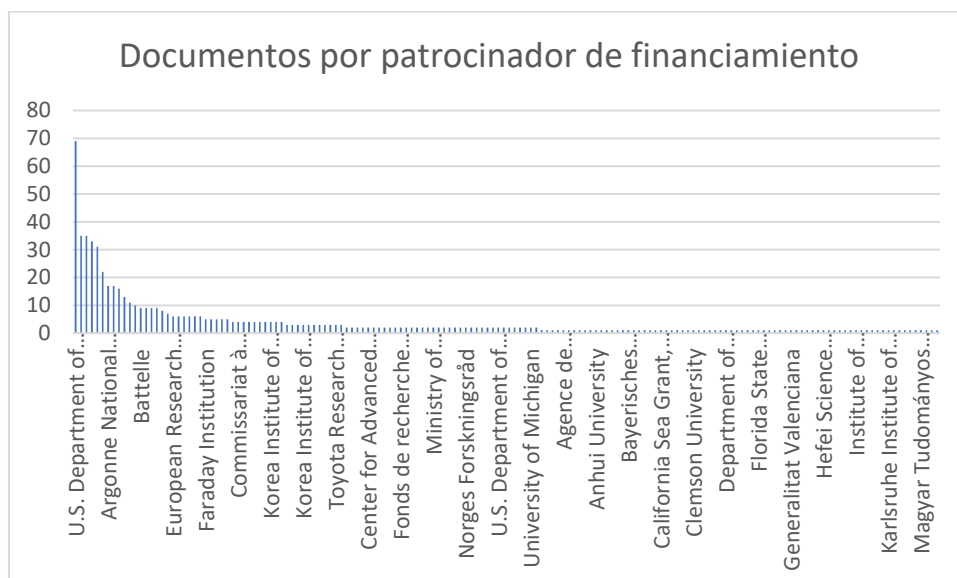


Ilustración 140: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí se comparte quiénes están financiando esta línea: por un lado, están instituciones como la NSFC, el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), la Comisión Europea y programas como Horizon Europe y Battery 2030+. Además, también hay inversión de empresas del sector automotriz y tecnológico que buscan mejorar la experiencia del usuario y lograr una autonomía real en sus productos.

18. Energy storage AND battery degradation

18.1. Documentos por año



Ilustración 141: Documentos por año



La gráfica ilustra cuántas publicaciones se han hecho cada año sobre la degradación de baterías en vehículos eléctricos, uno de los temas más activos en investigación aplicada.

- En los primeros años, de 2006 a 2012, la cantidad de estudios fue baja, con menos de 2 artículos anuales, que refleja el inicio del mercado de los EV y la escasez de datos reales sobre su funcionamiento.
- Se observó un aumento constante entre 2013 y 2018, cuando los primeros vehículos comerciales comenzaron a mostrar pérdidas de potencia, eficiencia y autonomía después de ser utilizados en condiciones del mundo real.
- Luego, de 2019 a 2024, el número de publicaciones creció rápidamente, llegando a más de 140 en 2024. Este aumento refleja el creciente interés en comprender cómo y por qué las baterías se degradan por razones químicas, térmicas o mecánicas, así como la necesidad de predecir su vida útil y planificar estrategias de mantenimiento y reciclaje.

18.2. Producción por año según revistas



Ilustración 142: Producción por año según revistas

Aquí se tienen algunas de las revistas más activas en este tema. Entre las más reconocidas están el Journal of Power Sources, Electrochimica Acta, Applied Energy, Energy Storage Materials y el Journal of Electrochemical Society. Además, también hay publicaciones en revistas que abordan temas como modelado computacional, simulación térmica y confiabilidad estructural.

18.3. Documentos por autor

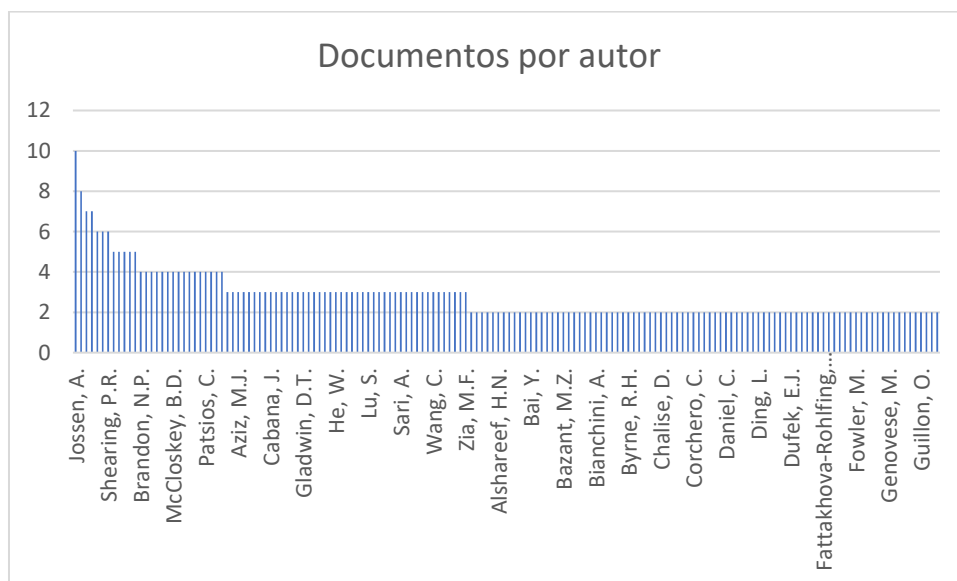


Ilustración 143: Documentos por autor

Aquí hay algunos autores que son bastante prolíficos en esta área. Son investigadores que se especializan en temas como sistemas de gestión de baterías (BMS), modelado de envejecimiento y análisis de los mecanismos que causan la degradación, como la pérdida de litio activo, el crecimiento de la capa SEI y la deformación de los electrodos. Además, algunos de estos investigadores también trabajan con redes neuronales y aprendizaje automático para estimar el estado de salud (SoH) de las baterías.

En cuanto a quién lidera en este campo, son los investigadores que adoptan un enfoque interdisciplinario, combinando análisis fisicoquímico, simulaciones eléctricas y algoritmos de control predictivo, para obtener mejores resultados.

18.4. Documentos por afiliación institucional

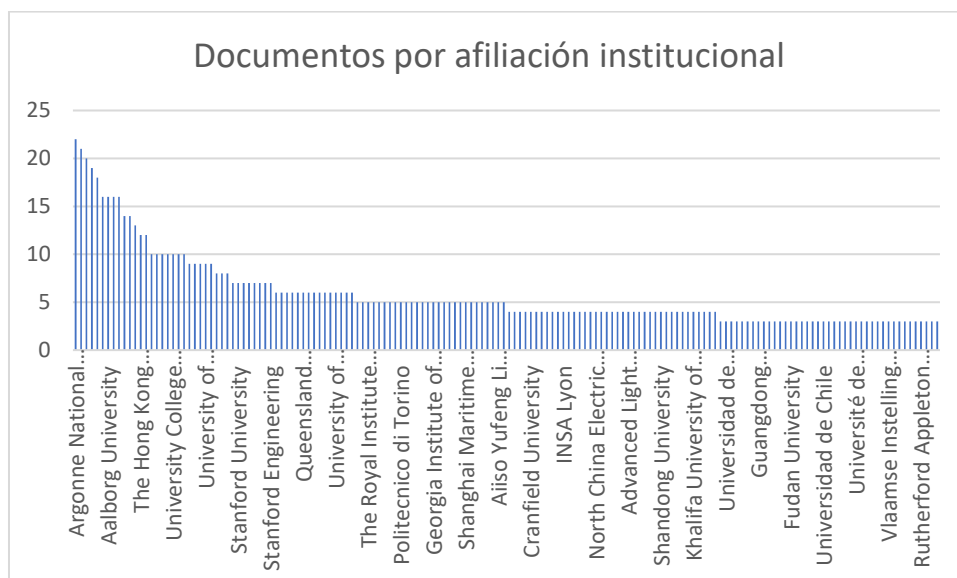


Ilustración 144: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones con más publicaciones en el tema son: *Argonne National Laboratory, Aalborg University, The Hong Kong University, University College London*. Estas universidades y laboratorios están relacionadas con flotas de prueba reales, bancos de celdas para envejecimiento acelerado y tecnologías de diagnóstico en desarrollo.

La investigación sobre la degradación se realiza en centros con laboratorios modernos, que utilizan pruebas cíclicas, espectroscopía in situ y también validan algoritmos en vehículos reales.

18.5. Documentos por país o territorio

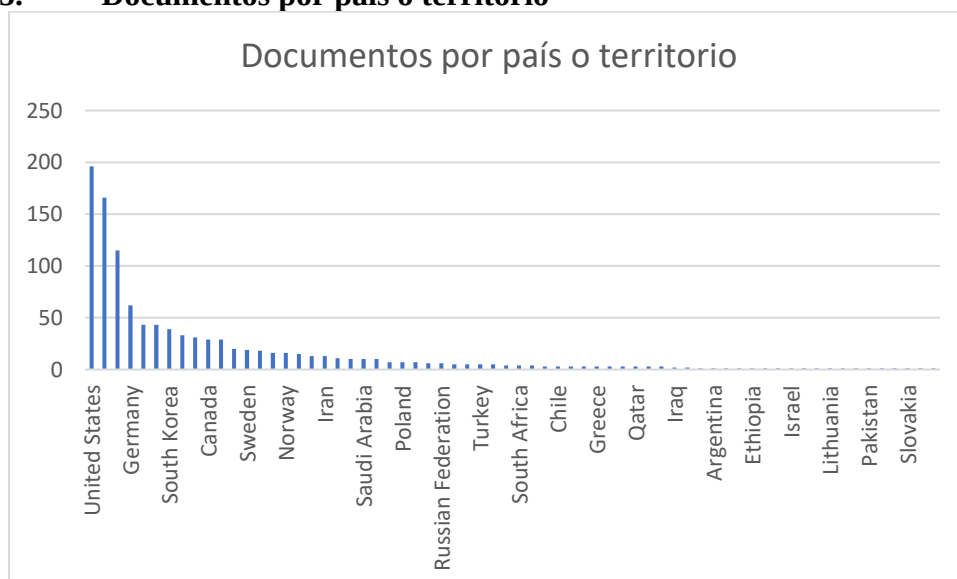


Ilustración 145: Documentos por país o territorio



En seguida se enlista los países más activos en publicaciones.

- Estados Unidos encabeza la producción, seguida por Alemania, Corea del Sur, Canadá y Suecia.
- Noruega, Irán y Arabia Saudita también están aumentando su participación.

Los principales países en electromovilidad están invirtiendo en entender y gestionar la degradación de las baterías como parte de su estrategia para reducir costos, mejorar la fiabilidad y apoyar la economía circular.

18.6. Documentos por tipo

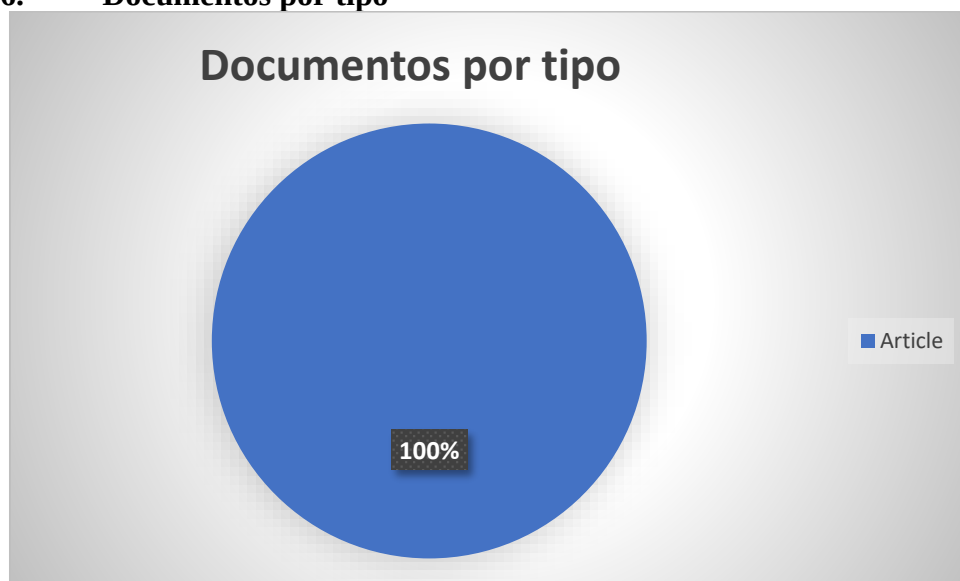


Ilustración 146: Documentos por tipo

La clasificación según el tipo de publicación.

- Principalmente encontramos artículos de investigación que combinan experimentos y cálculos computacionales, además de papers presentados en conferencias técnicas con datos reales de baterías en funcionamiento.

Es un campo muy activo y con muchas aplicaciones prácticas. Es clave para diseñar y mantener flotas de vehículos eléctricos, y también para desarrollar baterías de próxima generación que duren más en sus ciclos de carga y descarga.

18.7. Documentos por área temática



Ilustración 147: Documentos por área temática

Aquí se tiene una visión general de las áreas temáticas de los estudios. En primer lugar, las principales áreas incluyen Energy, Engineering, Materials Science, Chemistry, ENvironmental Science, Mathematics. Además, también hay investigaciones sobre térmica aplicada, optimización de carga y gestión inteligente de energía. Para entenderlo mejor, se puede decir que el análisis de degradación se realiza en diferentes niveles: desde la microestructura del electrodo hasta modelos termodinámicos complejos que se usan a nivel de sistema. Esto nos ayuda a entender cómo y por qué se deterioran los materiales y componentes en diferentes condiciones.

18.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

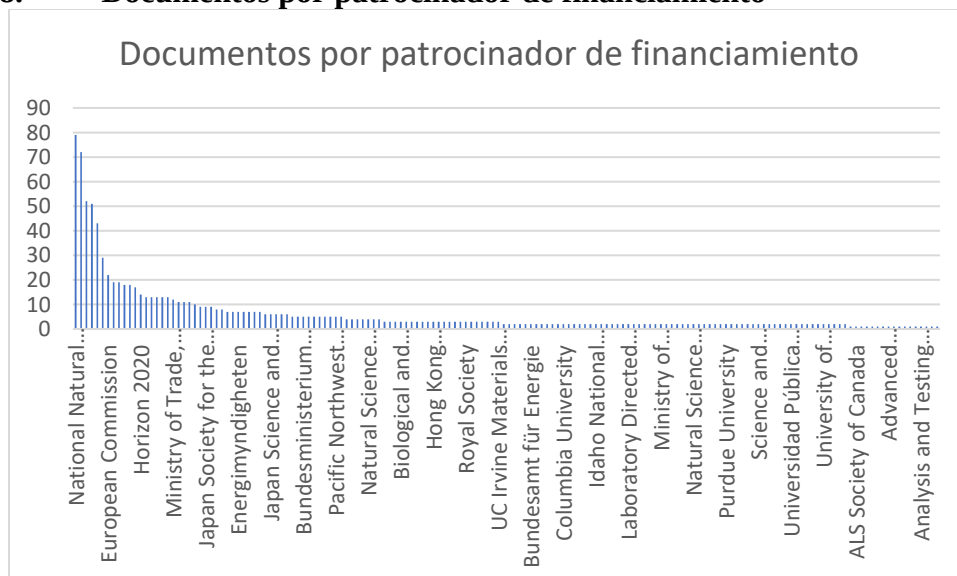


Ilustración 148: Documentos por patrocinador de financiamiento



Las principales fuentes de financiamiento incluyen apoyos de instituciones como la NSFC, el DOE, la Comisión Europea a través de Horizon Europe, Battery 2030+ y varias agencias nacionales dedicadas a la ciencia y transporte. También hay colaboración con empresas del sector, como Tesla, CATL, LG Energy Solution y BYD.

La degradación de las baterías impacta en aspectos tan importantes como su valor económico, el mantenimiento y el reciclaje. Por eso, fabricantes, reguladores y gobiernos consideran esto una prioridad.

19. Commercial battery AND vehicle

19.1. Documentos por año



Ilustración 149: Documentos por año

La gráfica muestra cuántas publicaciones al año mencionan el término "Commercial battery and vehicle" desde 2005 hasta 2024.

- Entre 2006 y 2011, el número fue muy bajo, menos de 3 artículos por año, lo cual tiene sentido porque en ese momento la investigación se centraba más en ideas básicas.
- Ya entre 2012 y 2014, empezó a subir de manera constante, probablemente porque las innovaciones en baterías de laboratorio comenzaron a llegar a productos comerciales.
- Desde 2015 hasta 2024, las publicaciones aumentaron mucho más, alcanzando un pico importante en 2022 y 2024 con más de 60 documentos en cada año. Esto refleja que cada vez más se estudia no solo la parte técnica, sino también cómo se usan en la vida real, su comercialización y su ciclo de vida.

19.2. Producción por año según revistas

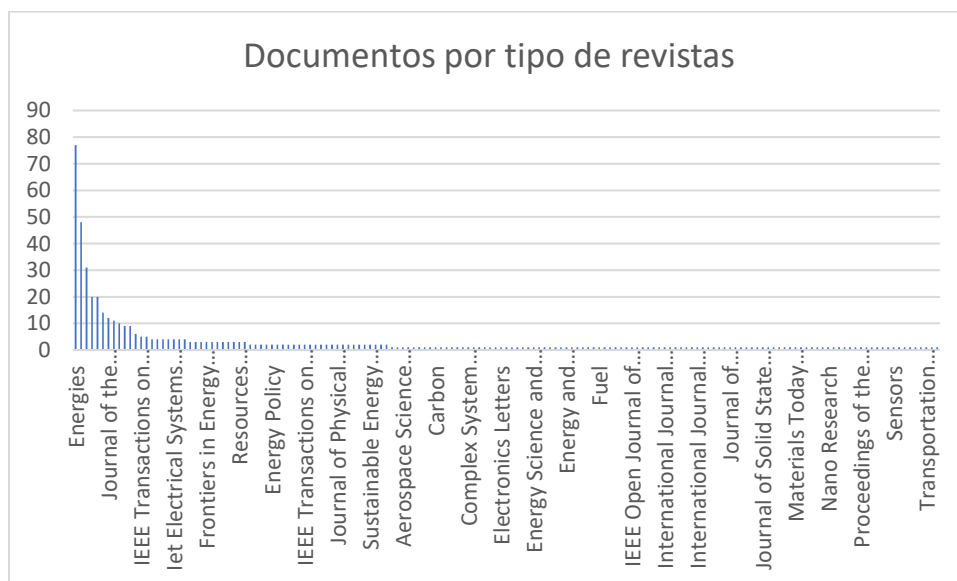


Ilustración 150: Producción por año según revistas

Aquí se puede ver las principales revistas que han publicado sobre este tema en los últimos años. La variedad de publicaciones es mayor que en el caso de las baterías de iones de litio, e incluye desde revistas enfocadas en ciencia de materiales hasta publicaciones de ingeniería aplicada. Algunos de los títulos que aparecen con frecuencia son *Energies*, *Journal of Power Sources*, *IEEE Transactions on Smart Grid* y *Let Electrical Systems in Transportation*.

El tema de las baterías comerciales es bastante amplio y se aplica en diferentes áreas, como estudios de mercado, producción industrial, ciclos de vida, costos y rendimiento.

19.3. Documentos por autor

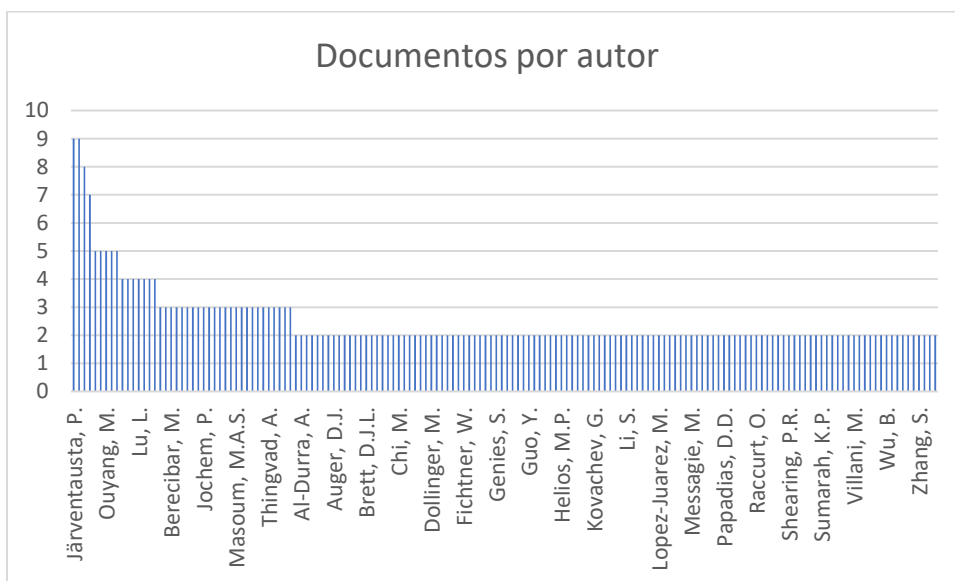


***Ilustración 151:** Documentos por autor*

Cuando se mira quiénes están más activos publicando sobre el tema de las baterías comerciales, nos encontramos con algunas diferencias importantes en comparación con el área de las baterías de litio. En este caso, no hay unos pocos investigadores dominando la escena; en cambio, varios nombres aparecen vinculados a estudios que involucran diferentes disciplinas. Muchos de estos investigadores trabajan en empresas o en áreas de política energética.

Esto indica que el tema es bastante colaborativo y está en constante evolución, con diferentes actores investigando aspectos específicos como los costos, cuánto duran o qué tan viable es llevar estas baterías al mercado.

19.4. Documentos por afiliación institucional

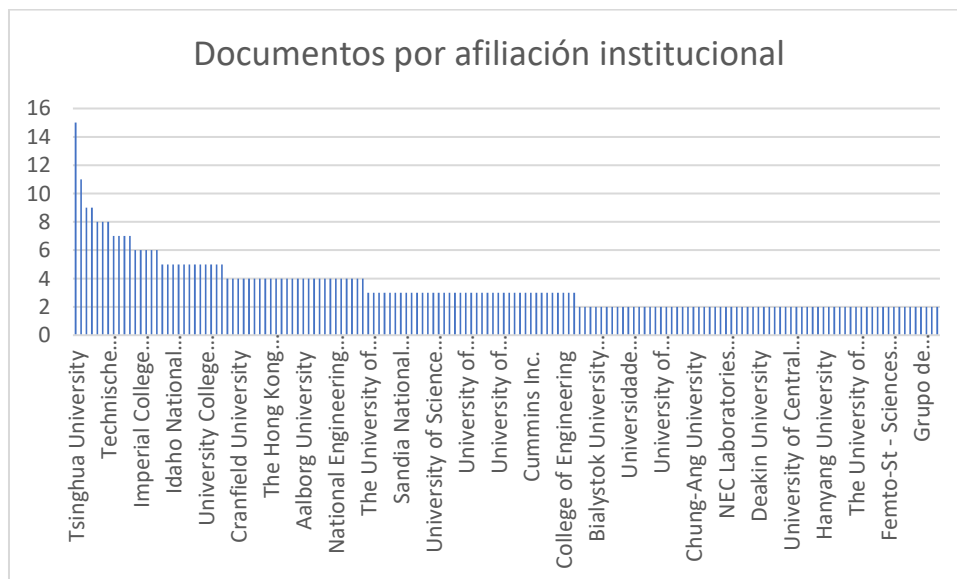


Ilustración 152: Documentos por afiliación institucional

Aquí se puede ver cuáles son las instituciones que más participan en el estudio de las baterías comerciales. Por lo general, son universidades técnicas, centros de energía y, tal vez, laboratorios de investigación industrial. Muchas de estas publicaciones probablemente salen de proyectos en colaboración entre universidades y empresas.

19.5. Documentos por país o territorio

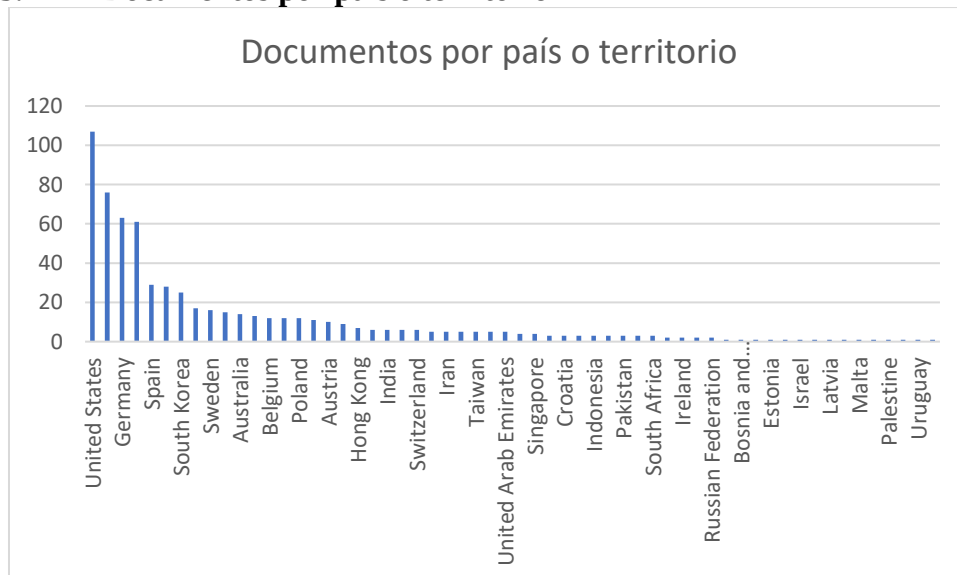


Ilustración 153: Documentos por país o territorio

Aquí la ilustración trata sobre qué países aportan más en este tema. Como en ejemplos anteriores, Estados Unidos, Alemania, España, Corea del Sur y Suecia lideran con diferencia. Sin embargo, también hay países en auge, como Australia o Bélgica, que tienen industrias muy fuertes en el



ensamblaje de vehículos eléctricos. Para entenderlo mejor, hay que saber que la investigación sobre baterías comerciales suele estar muy vinculada a economías que tienen una cadena de valor industrial muy desarrollada, desde la fabricación hasta la integración final.

19.6. Documentos por tipo

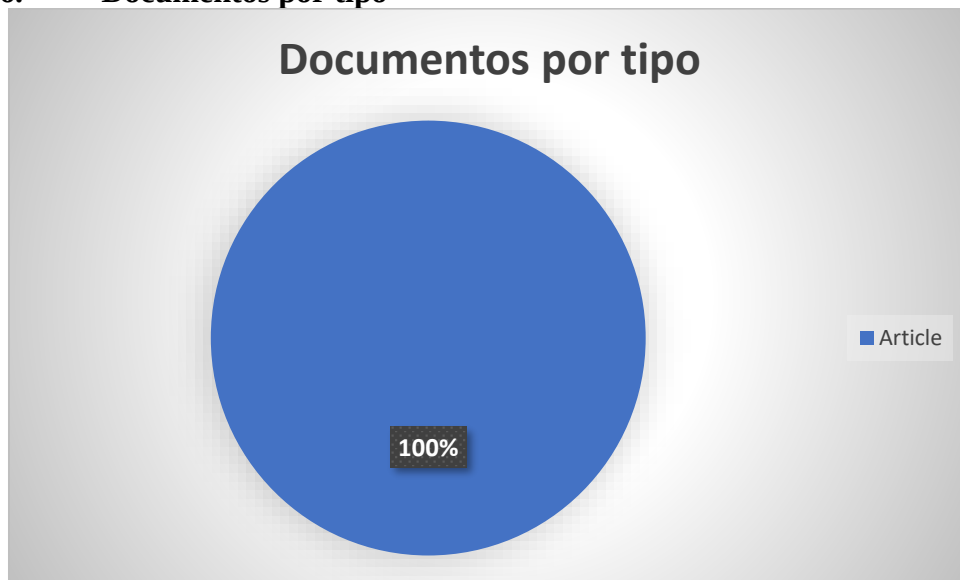


Ilustración 154: Documentos por tipo

Esta ilustración clasifica las publicaciones según el tipo de documento. Aunque predominan los artículos científicos, también se pueden encontrar más informes técnicos, proyectos industriales y papers presentados en conferencias. Además, hay estudios de revisión y análisis de mercado.

Esta categoría refleja la conexión entre el conocimiento científico y la transferencia tecnológica, incluyendo investigaciones aplicadas, ensayos en campo y análisis económicos.

19.7. Documentos por área temática

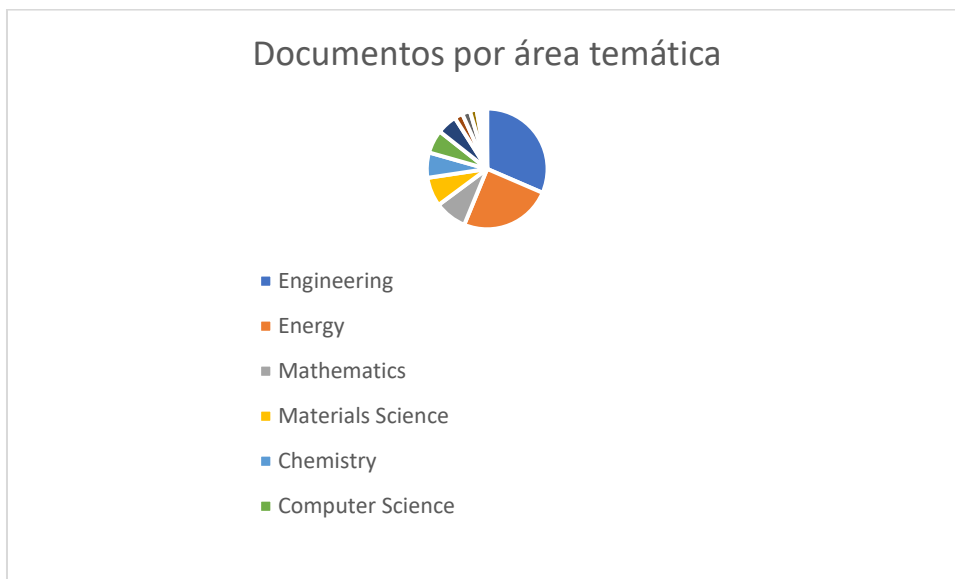


Ilustración 155: Documentos por área temática

Aquí se muestran las principales áreas de investigación en el tema. Se destacan especialmente: Engineering, Energy, Mathematics, Chemistry, Computer Science. También puede haber participación de científicos en ciencias ambientales, principalmente para analizar el impacto del uso masivo de estas tecnologías.

19.8. Documentos por patrocinador de financiamiento

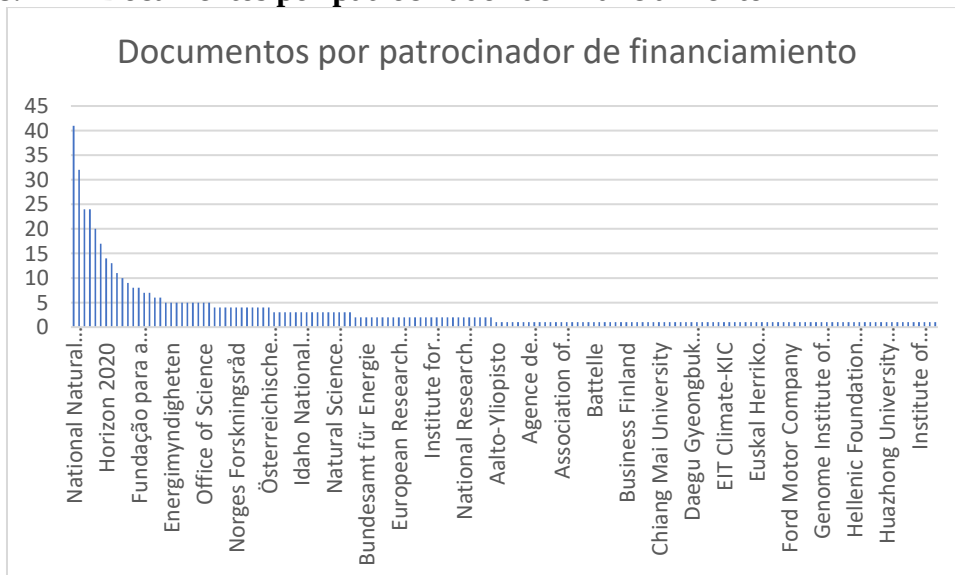


Ilustración 156: Documentos por patrocinador de financiamiento

Aquí se tiene las entidades que más financian investigaciones en este campo. Los principales patrocinadores suelen ser, por lo general, organismos gubernamentales como la NSFC, el DOE o la Unión Europea, además de empresas privadas que están interesadas en el uso práctico de



las baterías. La presencia de fondos de la industria demuestra que existe un gran interés en lograr resultados que puedan aplicarse en la vida real.

La investigación sobre baterías comerciales está estrechamente relacionada tanto con el progreso tecnológico como con los objetivos comerciales. Esto explica por qué empresas e industrias manufactureras participan tanto en el desarrollo de esta investigación, buscando soluciones que puedan convertirse en productos reales y viables en el mercado.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

20.1. Documentos por año



Ilustración 157: Documentos por año

La gráfica presenta la cantidad de publicaciones por año que hablan sobre las baterías para vehículos eléctricos.

- Desde 2010 hasta 2018, el número de documentos era muy bajo (menos de 2 por año), porque en ese momento los autos eléctricos todavía estaban en una etapa muy inicial y experimental.
- Entre 2019 y 2021, vimos una subida gradual, ya que empezaron a salir al mercado los primeros modelos comerciales como el Tesla Model S y el Nissan Leaf.
- A partir de 2022, el crecimiento fue realmente sorprendente, llegando a casi 7 publicaciones en 2024. Este aumento se debe a varios motivos, como políticas de reducción de emisiones del transporte, incentivos al coche eléctrico en Europa, China y Estados Unidos. en EE. UU. y la rápida expansión de la infraestructura de carga para estos automóviles.



La investigación sobre baterías de vehículos eléctricos ya no es solo una tendencia pasajera, sino una importante necesidad global impulsada por las políticas nacionales y el objetivo de lograr cero emisiones.

20.2. Producción por año según revistas

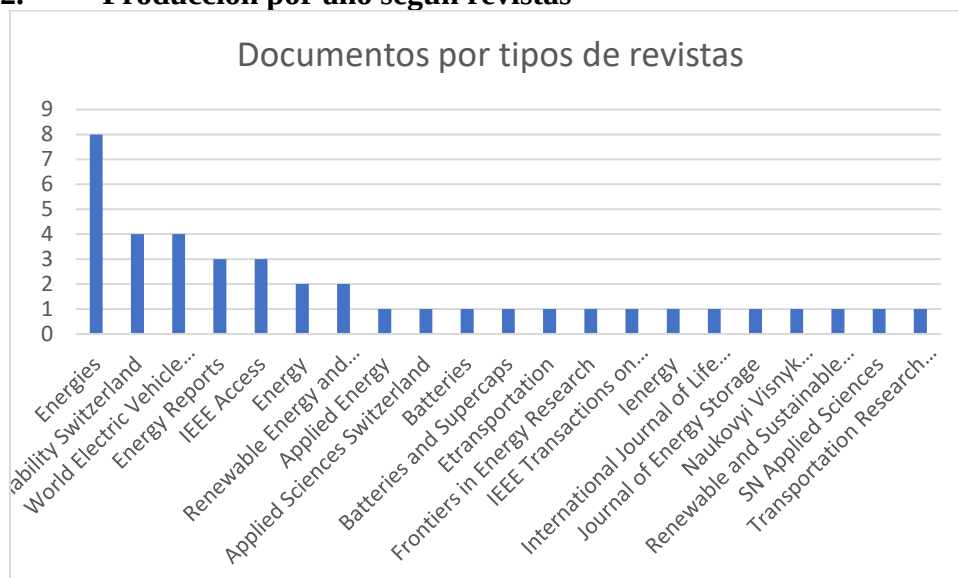


Ilustración 158: Producción por año según revistas

Aquí se tiene las principales revistas que han publicado trabajos sobre este tema. Las revistas como Energies, Sustainability Switzerland, World Electric Vehicles, Energy Reports, IEEE Access, lideran en cuanto a número de publicaciones. También se nota que el campo ha ido expandiéndose, con artículos en revistas de transporte, economía energética y ciencias de materiales.

20.3. Documentos por autor

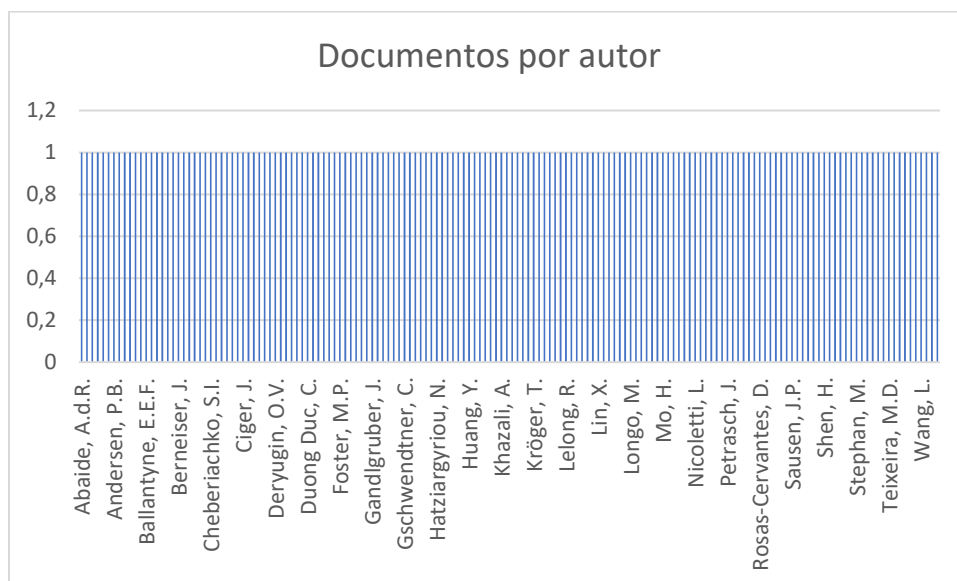


Ilustración 159: Documentos por autor

En la ilustración se pueden identificar a los autores que han publicado más artículos sobre el tema.

- Se destacan investigadores que trabajan en áreas como baterías, movilidad sostenible y gestión energética.
- Algunos nombres aparecen varias veces, especialmente en temas relacionados con baterías de ion de litio o LFP.

La frecuencia con que aparecen estos autores indica que hay líderes científicos bien establecidos en el campo de la movilidad eléctrica, con mucha experiencia en pruebas de baterías, modelado y eficiencia energética.

20.4. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 160: Documentos por afiliación institucional

Aquí se muestran las universidades, centros de investigación y laboratorios que están siendo más productivos en sus actividades. Países como China, Corea y Japón en Asia, Alemania y Noruega en Europa, y Estados Unidos en Norteamérica, lideran en estos proyectos. Además, algunas empresas tecnológicas como BYD, Tesla y Panasonic también aparecen colaborando con universidades en estos esfuerzos.

Resulta que hay una fuerte colaboración entre el mundo académico y la industria cuando se trata de desarrollar vehículos eléctricos. Las instituciones que destacan están directamente involucradas en proyectos de electromovilidad que están en marcha en la realidad.

20.5. Documentos por país o territorio

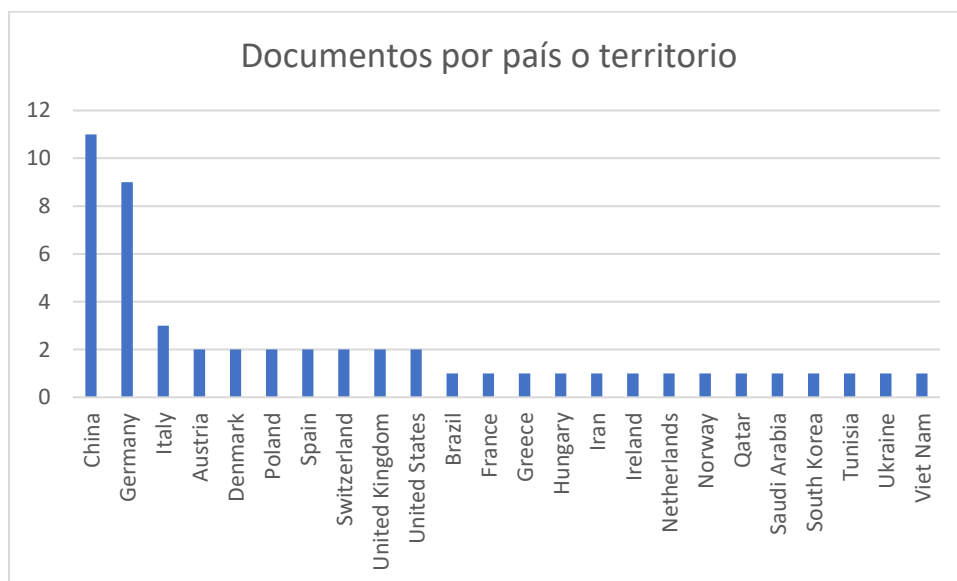


Ilustración 161: Documentos por país o territorio

Este gráfico muestra la cantidad de publicaciones por país. China destaca claramente, seguida por Alemania, Italia, Austria, Dinamarca y algunos países europeos. Por otro lado, Polonia, España y Suiza tienen una presencia más moderada. Europa, en cambio, participa en menor medida. En resumen, los principales países en producción automotriz e innovación tecnológica dominan en este ámbito. Esto confirma que la investigación está muy vinculada con la capacidad de implementar flotas eléctricas.

20.6. Documentos por tipo

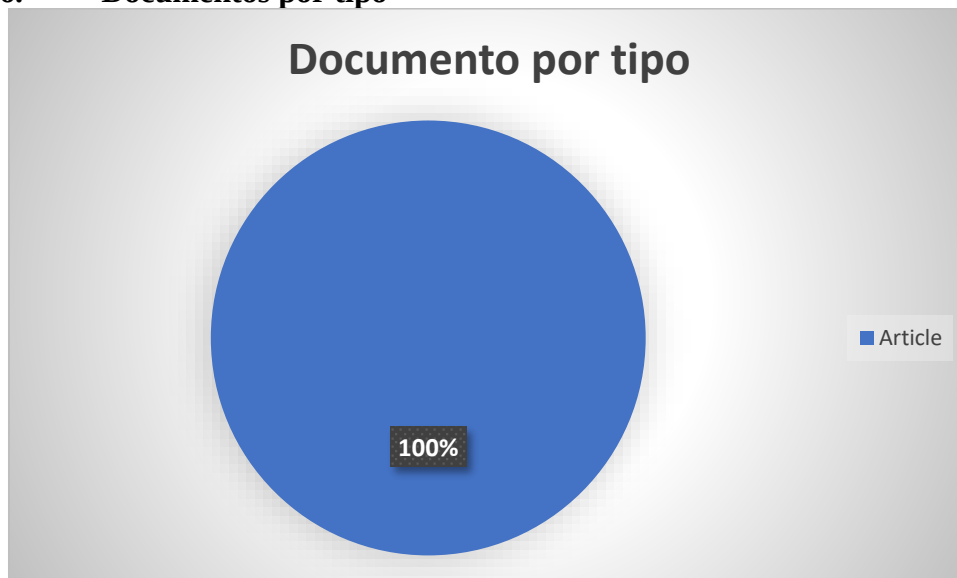


Ilustración 162: Documentos por tipo

Los documentos publicados se pueden clasificar según su formato. La mayoría son artículos originales, lo que muestra que hay una gran actividad

en investigación aplicada en este campo. También hay muchas revisiones, lo que indica que el área ha avanzado lo suficiente como para crear síntesis de ideas y conceptos.

20.7. Documentos por área temática

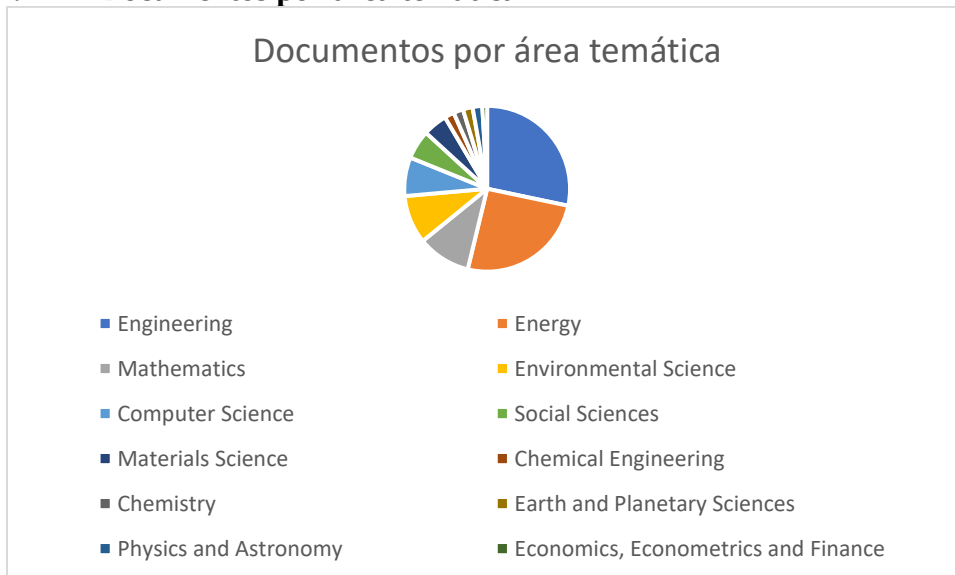


Ilustración 163: Documentos por área temática

Agrupar las publicaciones según su área de conocimiento. Las principales áreas con mayor participación son: Engineering, Mathematics, Computer Science, Materials Science, Chemistry, Physics and Astronomy, entre otras áreas temáticas. También puede haber contribuciones secundarias desde campos como economía, política pública o logística.

20.8. Documentos por patrocinador de financiamiento



Ilustración 164: Documentos por patrocinador de financiamiento



Aquí están las agencias que más financian estudios sobre baterías para autos eléctricos. La mayoría son ministerios de energía y transporte, agencias ambientales y fondos dedicados a la transición ecológica. También destacan programas europeos como Horizon y el Green Deal, así como fondos asiáticos especializados en innovación tecnológica. Esto demuestra que hay un respaldo fuerte por parte de instituciones a nivel global. Los gobiernos y fondos están poniendo prioridad en los vehículos eléctricos, mostrando que este tema está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la lucha contra el cambio climático.

Para concluir el análisis bibliométrico de la base de datos Scopus realizado, a continuación, presentamos una comparación resumida de los 20 comandos de búsqueda utilizados en la base de datos Scopus. Estos comandos cubren las principales tecnologías, enfoques y parámetros relacionados con las baterías comerciales para vehículos eléctricos. Gracias a ellos, se pudo explorar de manera completa cómo ha evolucionado la ciencia y la tecnología en los sistemas de almacenamiento de energía, considerando aspectos como:

- Tendencias en publicaciones
- Áreas temáticas principales
- Instituciones y países que lideran el avance
- El grado de madurez tecnológica
- La viabilidad comercial
- Así como factores económicos, de eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

En seguida se recopila todo este análisis, en tablas comparativas y con comentarios analíticos, los hallazgos más importantes derivados de los indicadores o comandos bibliométricos utilizados en Scopus. Esto ayuda no solo a entender en qué estado se encuentra cada tipo de batería, sino también a detectar nuevas tendencias y los principales desafíos científicos que marcarán el futuro del almacenamiento energético para la movilidad eléctrica.

4.1.1.1.Tendencia de Publicaciones (2005–2024)

Para determinar la evolución temporal de la investigación sobre baterías comerciales para vehículos eléctricos, a continuación, se resumen la tendencia de la publicación relacionada con los 20 comandos utilizados en Scopus. Esta tabla permite visualizar la tasa de crecimiento, los periodos de alta productividad y la consolidación de líneas de investigación con un apoyo cuantitativo para interpretar qué tecnologías presentan mayor continuidad en la investigación y cuáles aparecen como emergentes en el intervalo analizado (2005–2024).

Tabla 8: Tendencia de publicaciones (2005-2024)

Comando	Tendencia General	Pico de Publicaciones en 2024



Li-ion battery AND energy density	Exponencial sostenida	y	>200
Lithium-ion batteries AND battery degradation	Crítico y maduro		>350
Li-ion battery AND safety	Consistente		>100
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Decreciente		=3
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Constante consolidada	y	>20
Solid-state battery AND commercialization	Emergente ascendente	y	=13
Sodium-ion battery AND performance	Emergente impulso fuerte	con	=250
Hybrid battery AND lifetime	Experimental ascendente	y	>30
Battery efficiency AND charging	Constante consolidada	y	>300
Battery lifespan AND Li-ion	En crecimiento sostenido		>35
Battery thermal management AND vehicle	Técnico y creciente		>100
Battery safety AND thermal runaway	Consistente		=100
Battery cost AND electric vehicles	Estratégico y creciente		>440
Battery recycling AND lithium-ion	Acelerado sostenibilidad	por	=180
Lithium-sulfur battery AND applications	Emergente materiales	en	>40
Aluminum-air battery AND mobility	Reemergente		=2
Fast charging AND Li-ion battery	Altamente aplicado		>50
Energy storage AND battery degradation	Crítico y maduro		>140
Commercial battery AND vehicle	En desarrollo sostenido		>60



Electric vehicle battery AND technical characteristics	Crítico para EVs	=7

4.1.1.2. Madurez Tecnológica y Nivel de Aplicación

Después de examinar el desarrollo en el tiempo de las publicaciones, la tabla de madurez tecnológica y nivel de aplicación para sintetizar la producción y la recurrencia técnica permite inferir en qué medida está avanzando cada técnica. Esta síntesis ayuda a diferenciar tecnologías que dominan el mercado, desarrollos en escala y propuestas con una presencia inicial pero en aumento en la literatura científica.

Tabla 9: Madurez Tecnológica y Nivel de Aplicación

Nivel	Tecnologías o conceptos asociados
Alto / Comercial	Battery cost AND electric vehicles, Lithium-ion batteries AND battery degradation, Battery efficiency AND charging, Li-ion battery AND energy density, Sodium-ion battery AND performance.
Medio / En desarrollo	Battery recycling AND lithium-ion, Energy storage AND battery degradation, Battery safety AND thermal runaway, Battery thermal management AND vehicle, Li-ion battery AND safety.
Bajo / Emergente	Commercial battery AND vehicle, Fast charging AND Li-ion battery, Lithium-sulfur battery AND applications, Battery lifespan AND Li-ion, Hybrid battery AND lifetime, Lithium iron phosphate battery AND efficiency, Solid-state battery AND commercialization, Nickel metal hydride battery AND electric vehicle, Aluminum-air battery AND mobility, Electric vehicle battery AND technical characteristics.

4.1.1.3. Principales Áreas Temáticas

A continuación, se muestra la tabla de los principales temas, que tiene como objetivo identificar la distribución de la producción científica en campos disciplinarios como: ingeniería, energía, química, ciencia de materiales, entre otros; para cada comando. Esta interpretación temática proporciona información sobre la orientación de estudio de una tecnología en términos de rendimiento electroquímico, gestión térmica, seguridad, sostenibilidad y reciclaje o análisis tecno económico, ofreciendo evidencia sobre la especialización del estudio en Scopus.

Tabla 10: Principales Áreas Temáticas

Dominio técnico	Comandos relacionados
Electroquímica / Materiales	Li-ion, Li-S, LFP, Na-ion, Al-air, Solid-state, Hybrid
Ingeniería eléctrica / Energía	Battery efficiency, Fast charging, Monitoring, Thermal management.



Economía y políticas públicas	Battery cost, Recycling, Safety, Lifespan
Modelado / Simulación	Degradation, Efficiency, Monitoring, Safety, Fast charging

4.1.1.4. Distribución Geográfica de Liderazgo Científico

Seguidamente, se presenta la tabla de liderazgo científico por área geográfica, que resume los países y regiones con mayor producción asociada a los comandos. Este análisis ofrece un primer diagnóstico de dónde se ubican los principales núcleos de investigación, cómo se vincula ese liderazgo con capacidades industriales, tecnológicas y qué patrones de dominancia se observan entre tecnologías consolidadas y alternativas emergentes.

Tabla 11: Distribución Geográfica de Liderazgo Científico

País	Comandos con liderazgo destacado
China	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle, Lithium iron phosphate battery AND efficiency, Solid-state battery AND commercialization, Sodium-ion battery AND performance, Hybrid battery AND lifetime, Battery efficiency AND charging, Battery lifespan AND Li-ion, Battery thermal management AND vehicle, Battery safety AND thermal runaway, Battery cost AND electric vehicles, Lithium-sulfur battery AND applications, Electric vehicle battery AND technical characteristics.
EE. UU.	Li-ion battery AND energy density, Lithium-ion batteries AND battery degradation, Li-ion battery AND safety, Nickel metal hydride battery AND electric vehicle, Lithium iron phosphate battery AND efficiency, Solid-state battery AND commercialization, Battery recycling AND lithium-ion, Fast charging AND Li-ion battery, Energy storage AND battery degradation, Commercial battery AND vehicle.
Alemania/Italia	Li-ion battery AND safety, Lithium iron phosphate battery AND efficiency, Sodium-ion battery AND performance, Hybrid battery AND lifetime, Battery safety AND thermal runaway, Lithium-sulfur battery AND applications, Energy storage AND battery degradation, Commercial battery AND vehicle, Electric vehicle battery AND technical characteristics.
Corea del Sur / Japón/Hong Kong	Li-ion battery AND energy density, Lithium-ion batteries AND battery degradation, Solid-state battery AND commercialization, Sodium-ion battery AND performance, Battery lifespan AND Li-ion, Energy storage AND battery degradation.
Reino Unido/ Australia	Battery efficiency AND charging, Battery recycling AND lithium-ion, Lithium-sulfur battery AND applications, Aluminum-air battery AND mobility.



Europa (España, Francia)	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle, Hybrid battery AND lifetime, Battery lifespan AND Li-ion, Battery thermal management AND vehicle, Battery safety AND thermal runaway, Fast charging AND Li-ion battery, Commercial battery AND vehicle.

4.1.1.5. Características Clave de Cada Tecnología

Por último, se muestra una tabla resumen de las características de cada tecnología, que compila las características técnicas y de aplicación más recurrentes encontradas en la literatura recuperada. Esta síntesis actúa de cierre integrador del bloque Scopus puesto que relaciona la conducta bibliométrica de tendencias y focos temáticos con los atributos tecnológicos que motivan la atención científica de cada tipo de batería para vehículos eléctricos.

Tabla 12: Características Clave de Cada Tecnología

Tecnología / Tema	Ventajas clave	Desafíos principales
Li-ion	Alta eficiencia y densidad, tecnología madura	Costo, reciclaje, degradación
LFP	Seguridad y durabilidad	Menor densidad energética
Na-ion	Bajo costo, abundancia	Baja densidad energética, aún en prototipo
Li-S	Alta densidad teórica	Efecto “shuttle”, baja ciclabilidad
Solid-state	Seguridad, densidad, sin fugas	Interfaces sólidas, costo, escalabilidad
Al-air	Alta densidad teórica, bajo costo	No recargable, corrosión, uso limitado
NiMH	Robustez, reciclabilidad	Baja densidad, obsoleta en EVs
Hybrid battery	Flexibilidad, adaptación	Complejidad de diseño, costos de integración
Efficiency / Lifespan / Degradation	Optimización operacional	Dependen de temperatura, carga, diseño y uso
Battery recycling	Sustentabilidad, recuperación de metales	Procesos costosos, toxicidad, falta de legislación



Cost / Fast charging / Monitoring	Atractivo comercial, experiencia del usuario	Costo elevado, calor, impacto en vida útil
Thermal management / Safety	Seguridad operacional, prevención de fallos	Complejidad térmica, sensores y sistemas de control

El análisis bibliométrico de la base de datos Scopus a través de Microsoft Excel permitió discernir la tendencia general de la producción científica sobre baterías comerciales utilizadas en vehículos eléctricos y destacar patrones en crecimiento, multisectorialidades y áreas temáticas dominantes. También se identificaron países líderes en investigación y atributos técnicos de las tecnologías estudiadas, así como temas de investigación con menos producción científica.

En conjunto, estos resultados ofrecen una panorámica cuantitativa consolidada que potencia el análisis con herramientas visuales y permite desglosar las relaciones y tendencias reportadas que se discutirán a continuación a través de VOSviewer.

4.1.2. Análisis en VOSviewer

Una vez concluido el análisis bibliométrico cuantitativo de la base de datos Scopus realizado con Microsoft Excel, a continuación, para complementar dicho análisis se lleva a cabo un análisis visual a través del software VOSviewer. Este anterior estudio permitió observar los patrones generales de publicación, las áreas temáticas más comunes y el grado de madurez tecnológica, pero no permitía identificar las relaciones estructurales entre autores, términos o documentos científicos.

En este sentido, VOSviewer se utiliza para la creación de mapas bibliométricos con los que se representan redes de colaboración científica y agrupaciones temáticas, para realizar una interpretación más detallada de la dinámica investigadora dentro del área de las baterías comerciales para vehículos eléctricos. Considerando esto, el análisis visual completa y fortalece los resultados de Excel, vinculándose de manera directa al cumplimiento del objetivo específico 3, el cual está orientado a la identificación de tendencias y tecnologías emergentes. A continuación, se presenta a detalle el análisis gráfico de cada uno de los comandos:

1. Li-ion battery AND energy density

1.1.Co-authorship

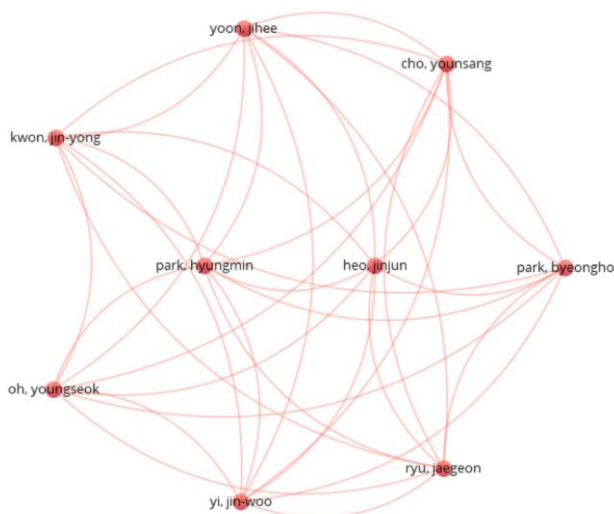


Ilustración 165: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density

La ilustración exhibe redes densas y bien organizadas de colaboración científica, donde se observan clústeres de autores que presentan alta productividad y una colaboración recurrente entre ellos. Esto muestra que la temática de densidad energética en baterías de ion-litio es un área solidificada, con liderazgos de grupos de investigación especializados.

1.2.Co-occurrence

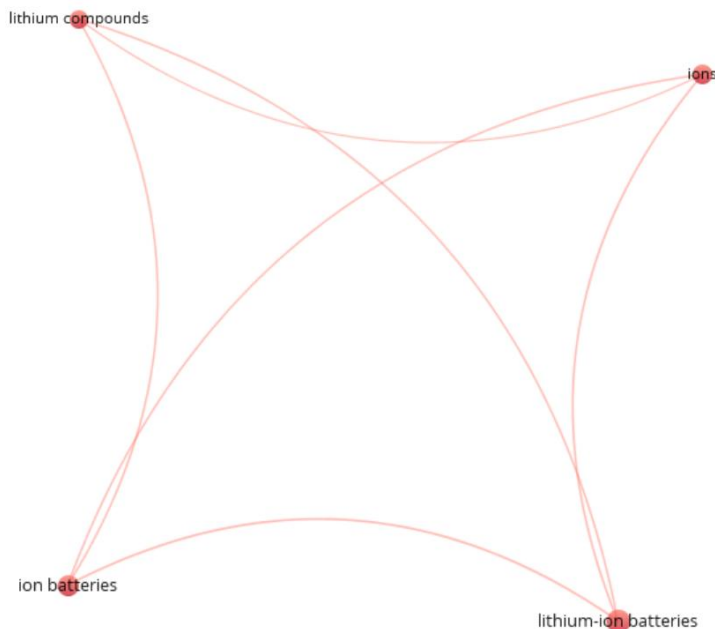


Ilustración 166: Mapa de condiciones de coexistencia del equipo de densidad de energía y batería de iones de litio



El mapa revela la alta frecuencia y centralidad de términos relacionados con la densidad de energía, los materiales de los electrodos y el rendimiento electroquímico. La agrupación de nodos representa áreas de investigación maduras, mientras que los términos periféricos representan nuevos enfoques en materiales avanzados.

1.3.Citation

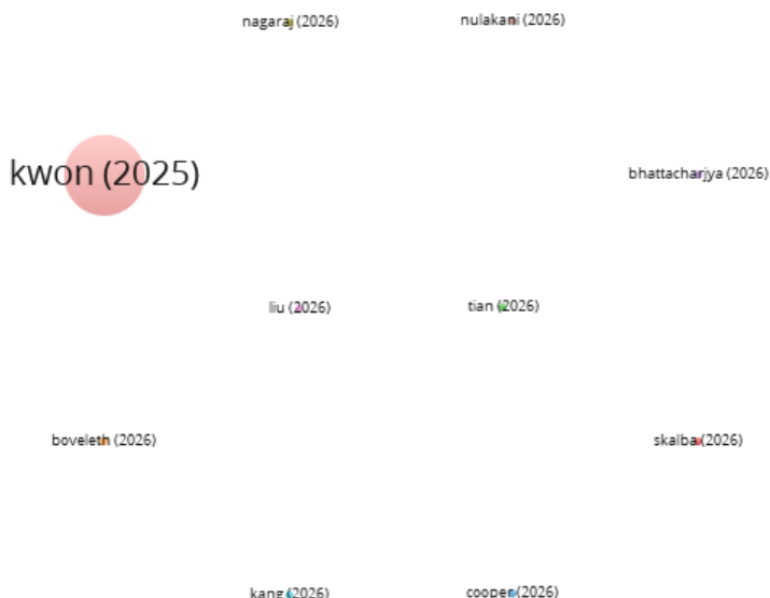


Ilustración 167: Mapa de citación para el comando Li-ion battery AND energy density

La ilustración revela que pocos documentos concentran la mayoría de las citas, lo que implica que existen trabajos considerados incidentes que orientan las actividades investigativas en el área.

1.4.Bibliographic coupling



Ilustración 168: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Li-ion battery AND energy density

Se puede observar que existen agrupaciones densas de documentos que comparten referencias, lo que indica que existe una convergencia temática y metodológica en la investigación.

1.5.Co-citation

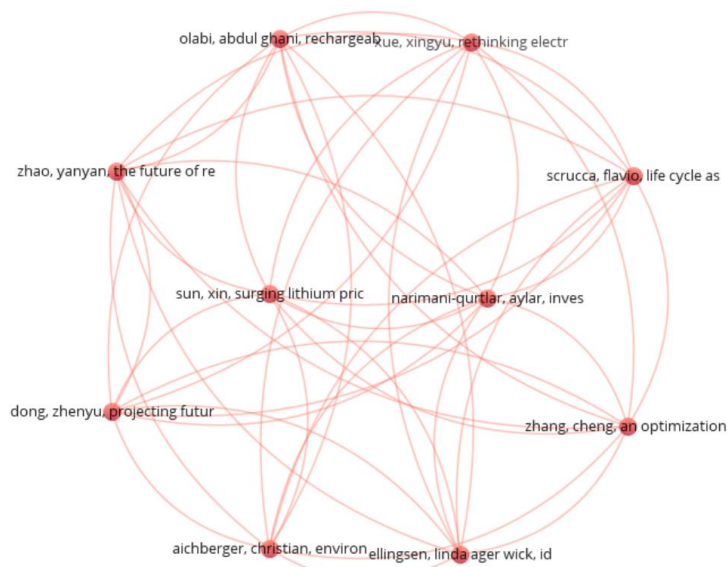


Ilustración 169: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND energy density



El mapa tiene en cuenta que existen núcleos conceptuales estables de autores y documentos siendo éstos co-citados con regularidad, evidenciando la robustez teórica del campo.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

2.1.Co-authorship

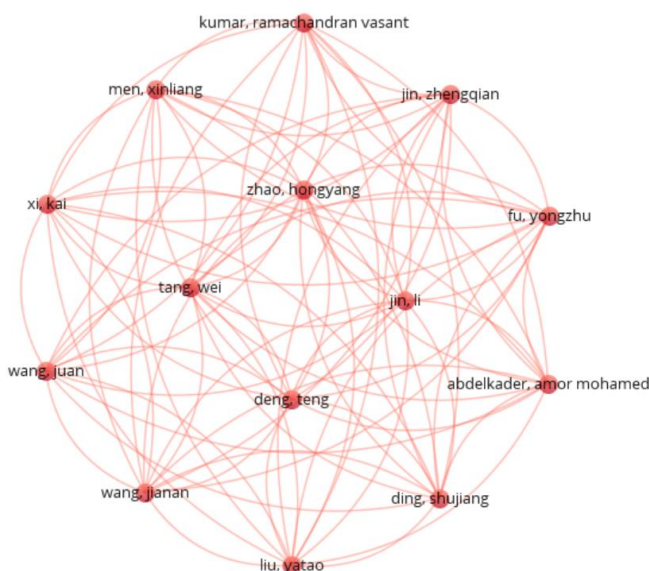


Ilustración 170: Mapa de coautoría para el comando *Lithium-ion batteries AND battery degradation*

Este mapa ilustra redes de colaboración con densidad media estrechamente alineadas con grupos especializados en degradación y envejecimiento de baterías, reflejando un área de investigación que está en constante mejora.

2.2.Co-occurrence



Ilustración 171: Mapa de términos de CC para baterías de iones de litio Y degradación de baterías

Aquí se observan términos relacionados con tiempos de carga, ciclos de vida y mecanismos de degradación. Están cubiertos por un tema estrechamente relacionado, lo que indica una línea clara de investigación técnica.

2.3.Citation

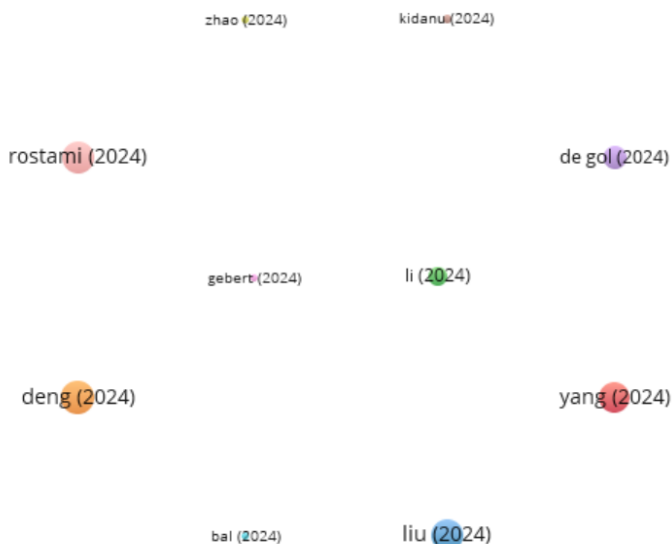


Ilustración 172: Mapa de citación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation



El mapa visualiza documentos altamente citados que actúan como referencias clave en el estudio de las baterías de degradación.

2.4. Bibliographic coupling

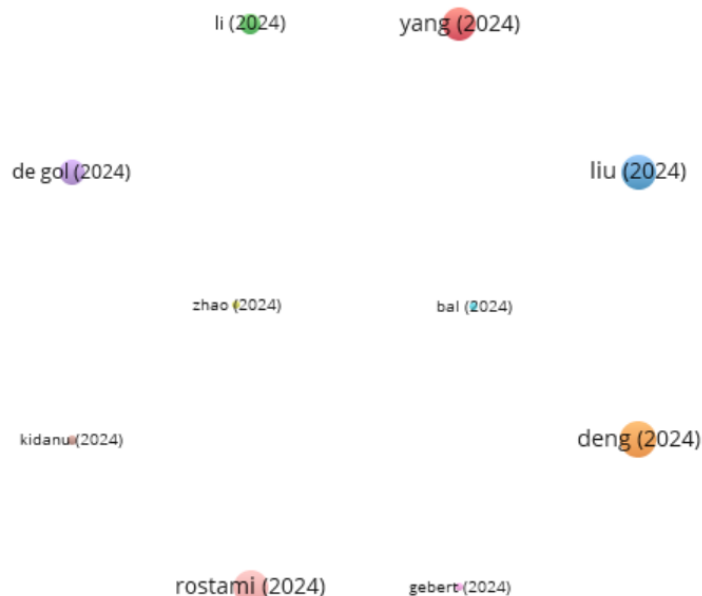


Ilustración 173: Mapa de enlaces bibliográficos para baterías de iones de litio Y degradación de baterías

El mapa muestra una clara coincidencia temática entre los textos, indicando métodos de trabajo similares.

2.5. Co-citation

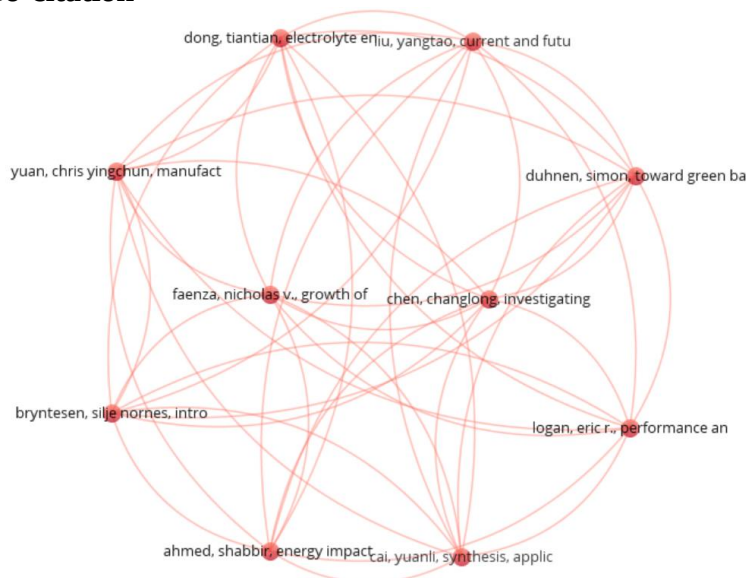


Ilustración 174: Mapa de cocitación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation



En el mapa se pueden señalar núcleos teóricos fuertes que organizan el conocimiento de la degradación.

3. Li-ion battery AND safety

3.1.Co-authorship

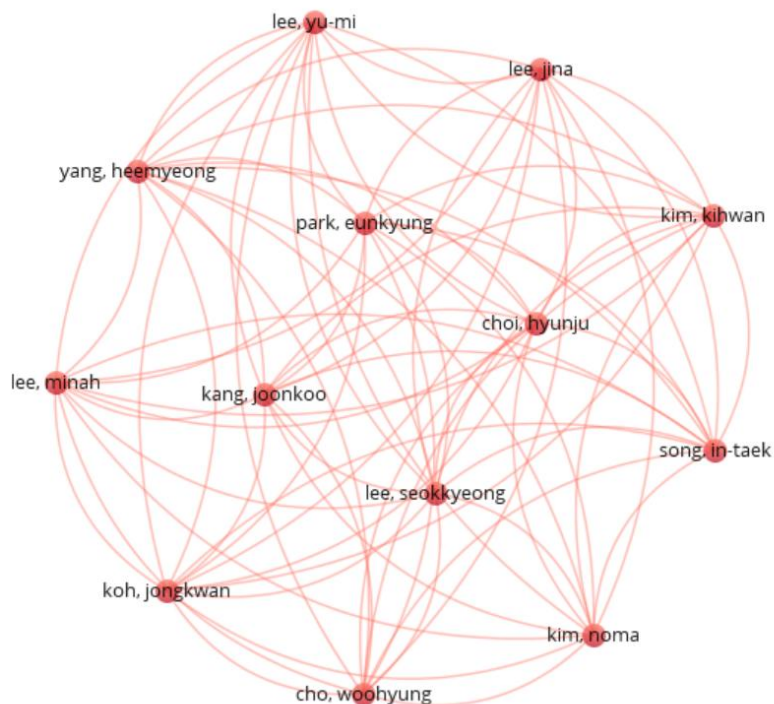


Ilustración 175: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND safety

La ilustración muestra redes densas dentro de unos pocos grupos de expertos, lo que sugiere que se especializan en asuntos de importancia crítica para la seguridad.

3.2.Co-occurrence

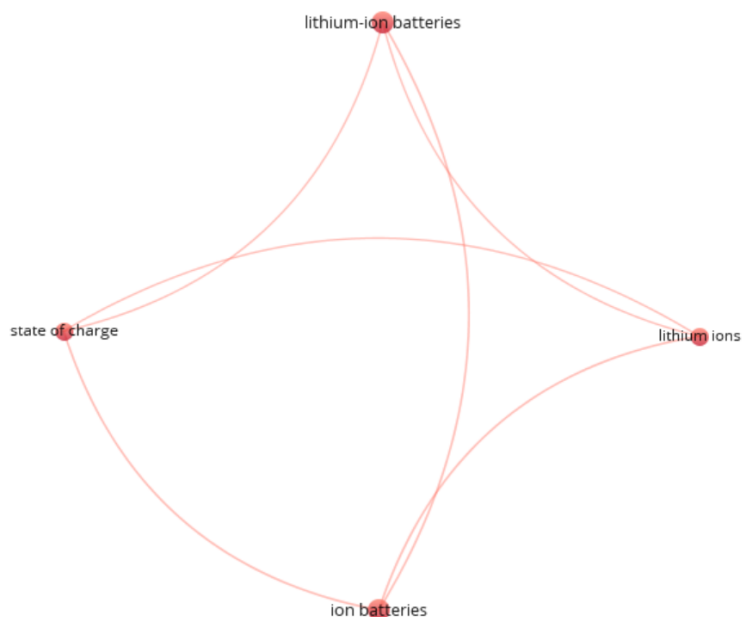


Ilustración 176: Mapa de CC de términos de batería de iones de litio Y equipo de seguridad

Se centra en conceptos relacionados con fallas, seguridad, protección de hardware y factores ambientales, enfatizando la relevancia del tema para las aplicaciones de vehículos.

3.3.Citation

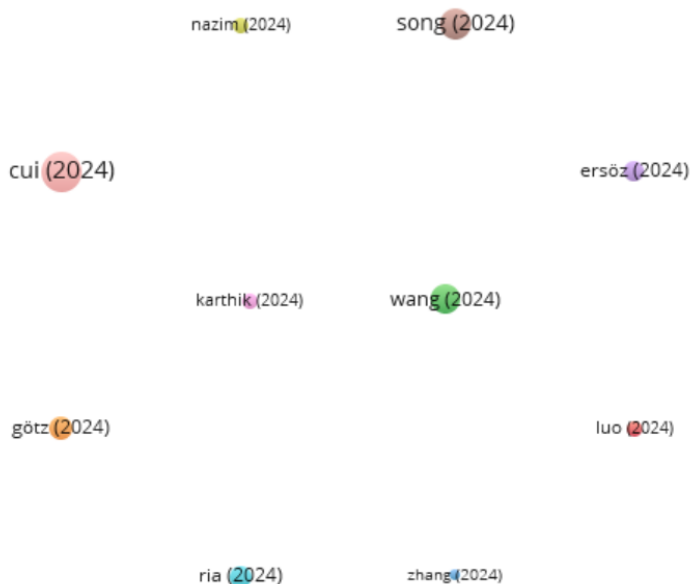


Ilustración 177: Mapa de referencia de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad



Se superponen con términos relacionados con fallas, seguridad, protección de hardware y factores ambientales, lo que indica la importancia del tema en las aplicaciones de vehículos.

3.4. Bibliographic coupling

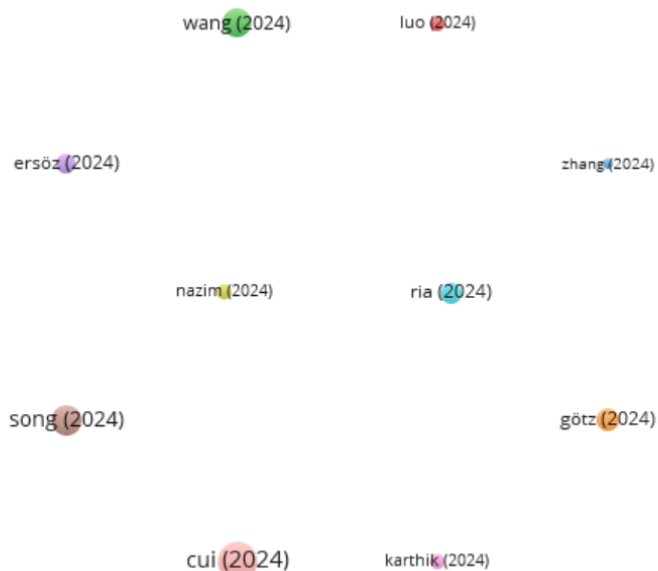


Ilustración 178: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad

Los clústeres tienen una alta coherencia temática en los enfoques de seguridad.

3.5. Co-citation

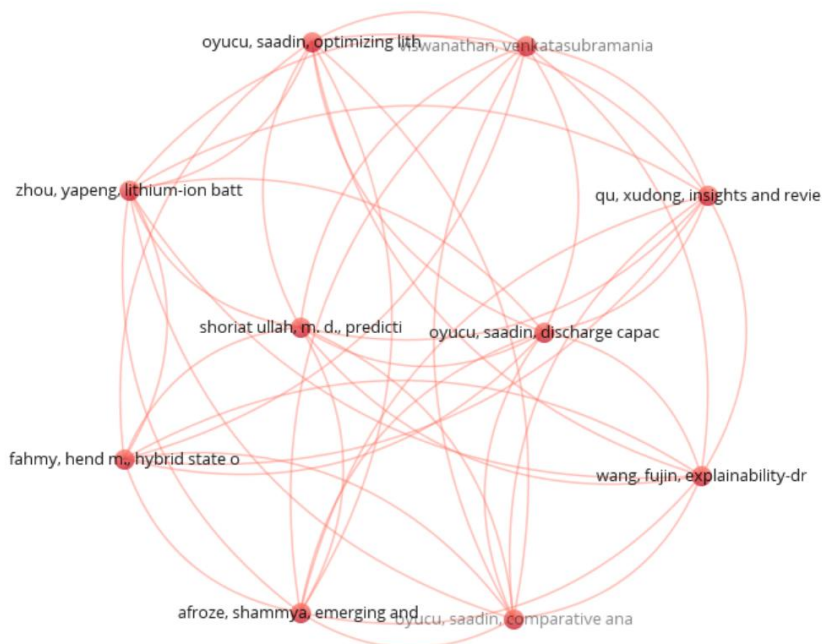


Ilustración 179: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND safety

El mapa verifica la existencia de un marco de pensamiento muy bien establecido.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

4.1.Co-authorship

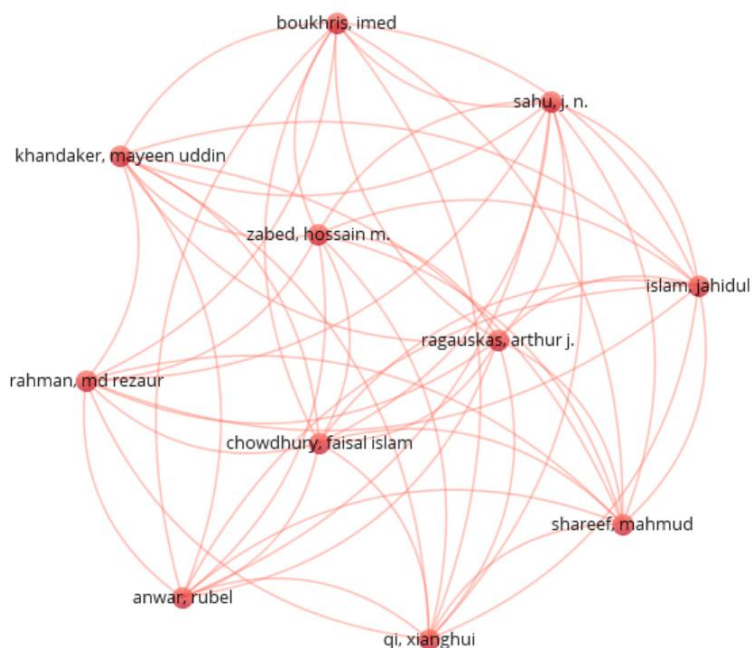


Ilustración 180: Mapa de contribuyentes del equipo de baterías de hidruro metálico de níquel y vehículos eléctricos

La ilustración muestra redes pequeñas y estables con una expansión reciente baja, lo que representa una tecnología madura.

4.2.Co-occurrence

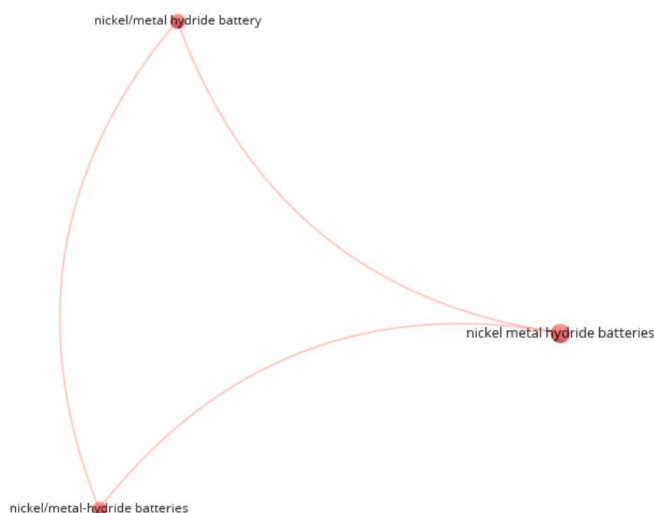


Ilustración 181: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Los términos están principalmente relacionados con aplicaciones híbridas y vehículos de generaciones anteriores.

4.3.Citation



song (2024)

baloyi (2023)

mohammadi (2023)

kh nekouei (2024)

islam (2023)

chinna alluiah (2024)

pielecha (2023)

korkmaz (2024)

hernández (2023)

martínez-sánchez (2024)

Ilustración 182: Mapa de citación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Las citas se concentran en la literatura clásica.

4.4. Bibliographic coupling

hernández (2023)

korkmaz (2024)

kh nekouei (2024)

Ilustración 183: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

En el mapa se muestran que los documentos son temáticamente moderadamente similares.

4.5. Co-citation

nnemans, koen, recycling of

ieee systems man and cyber

Ilustración 184: Mapa de cocitación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Este mapa teórico parece sólido, escurridizo, pero a la vez muy poco dinámico.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

5.1. Co-authorship

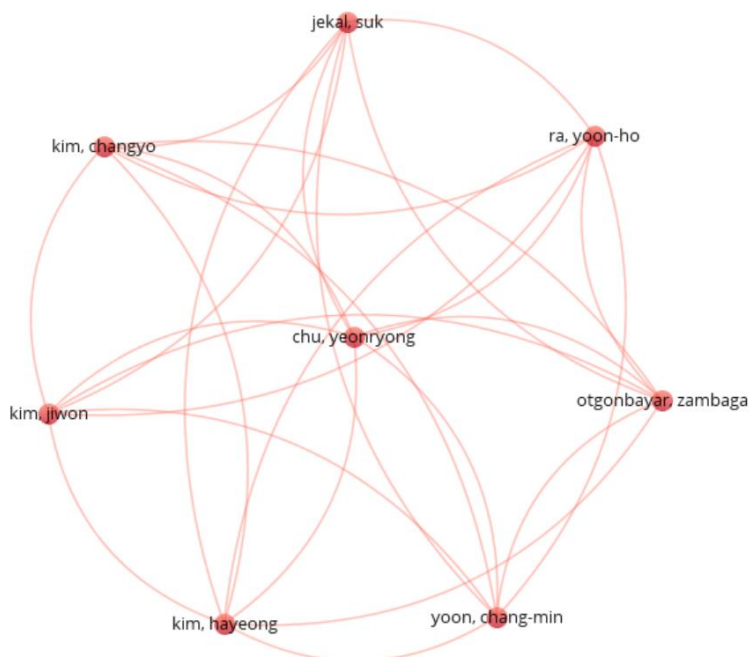


Ilustración 185: Mapa de contribuyentes del equipo de batería de fosfato de hierro y litio Y eficiencia

El mapa ilustra grupos aislados centrados en aplicaciones específicas y eficiencia energética.

5.2.Co-occurrence

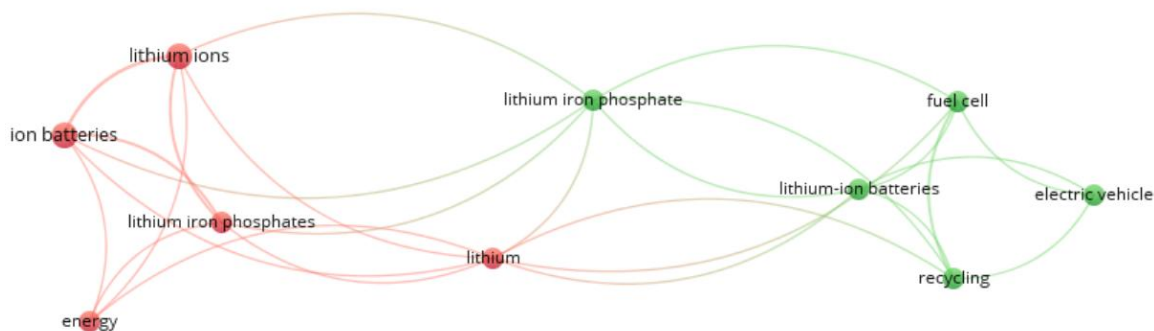


Ilustración 186: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

En la red se observan la prevalencia de términos relacionados con la estabilidad térmica y la eficiencia en la operación.

5.3.Citation



guarnieri (2024)

xia (2024)

jekal (2024)

koniak (2024)

abrari (2024)

muller (2024)

manjong (2024)

liu (2024)

yu (2024)

chaudhary (2024)

Ilustración 187: Mapa de citación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

En este comando se utilizan principalmente términos relacionados con la estabilidad térmica y la eficiencia de operación.

5.4. Bibliographic coupling

muller (2024)

liu (2024)

koniak (2024)

chaudhary (2024)

guarnieri (2024)

yu (2024)

xia (2024)

manjong (2024)

jekal (2024)

abrari (2024)

Ilustración 188: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency



En el mapa las referencias técnicas son recurrentes.

5.5.Co-citation

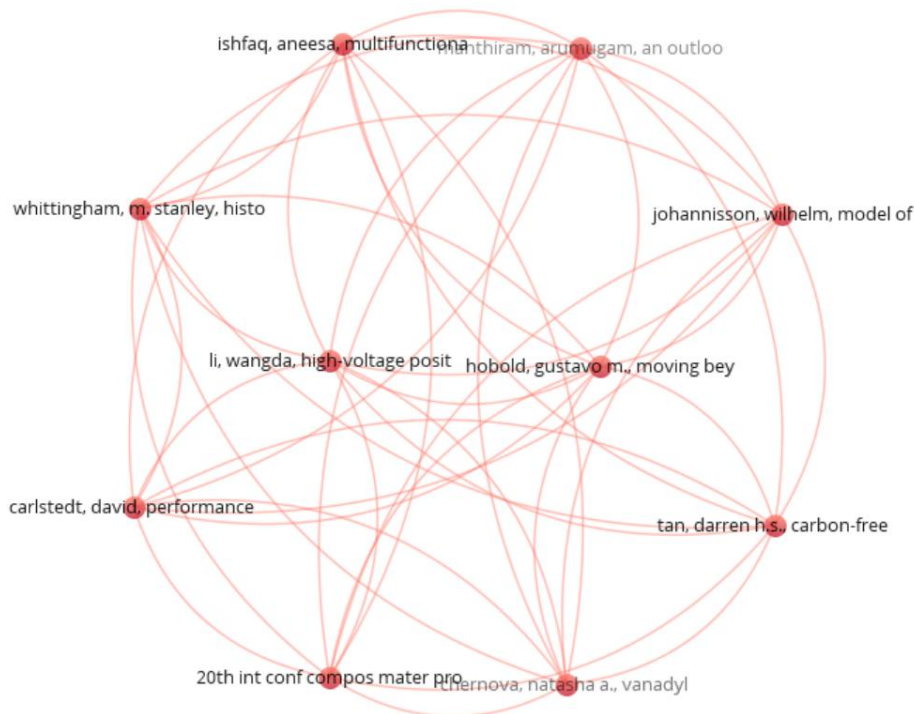


Ilustración 189: Mapa de cocitación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

El mapa presenta núcleos conceptuales estables y bien definidos.

6. Solid-state battery AND commercialization

6.1.Co-authorship

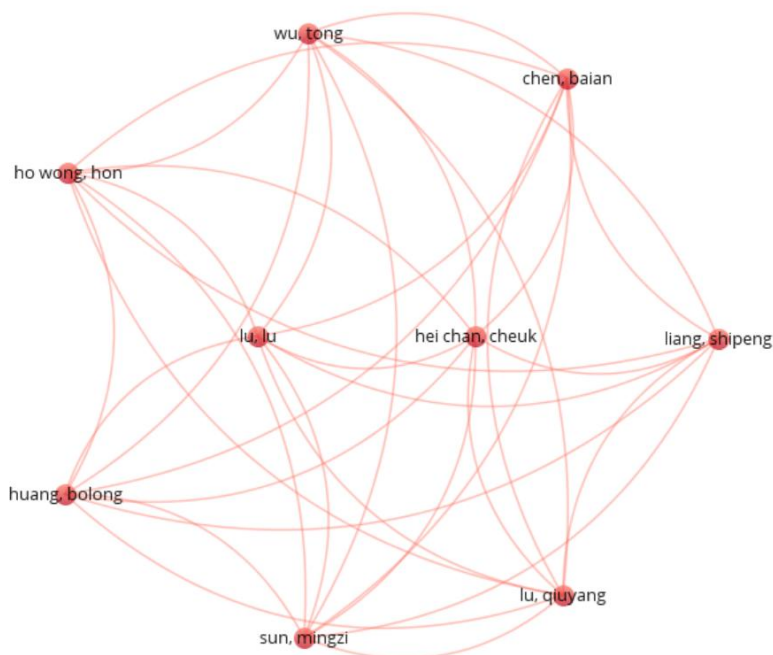


Ilustración 190: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization

La ilustración presenta redes en expansión, fragmentadas, características de tecnologías recientes.

6.2.Co-occurrence

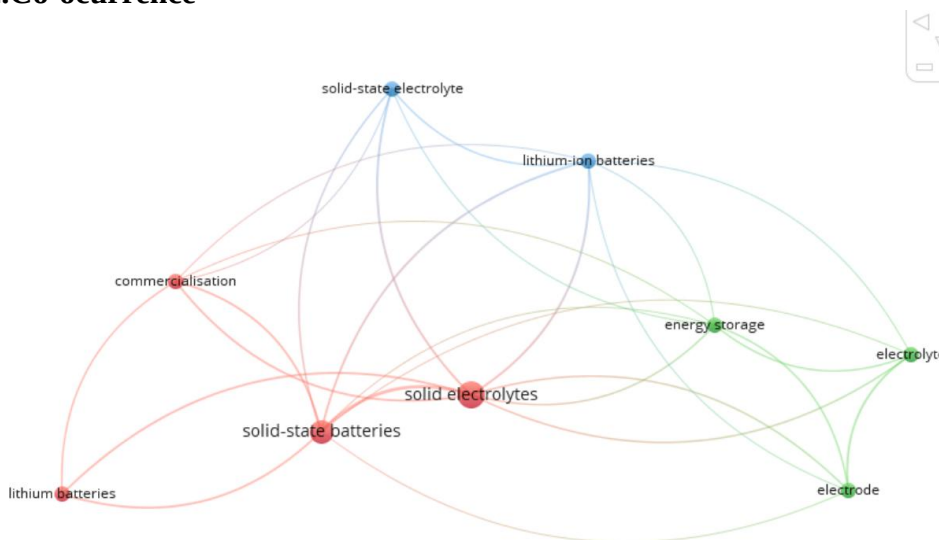


Ilustración 191: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Solid-state battery AND commercialization

Los términos mostrados son de baja densidad, asociados a prototipos y escalabilidad.

6.3.Citation

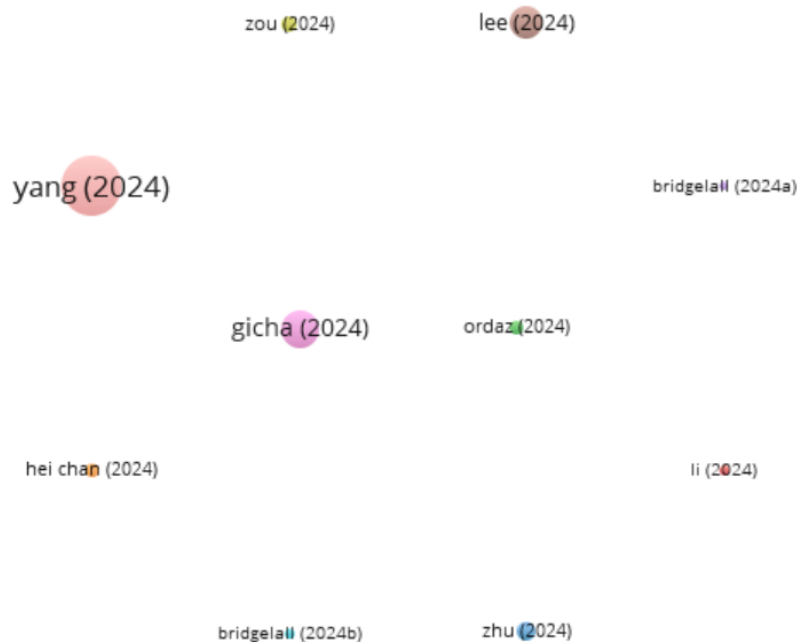


Ilustración 192: Mapa de citación para el comando Solid-state battery AND commercialization

El impacto del índice de citaciones es limitado.

6.4. Bibliographic coupling

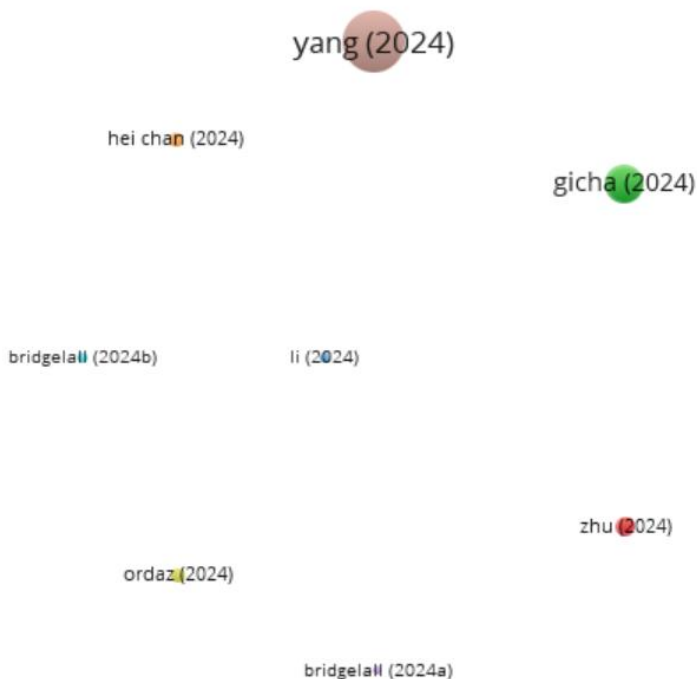


Ilustración 193: Esquema bibliográfico de baterías de estado sólido Y equipos de comercialización



Hay un bajo nivel de convergencia temática.

6.5.Co-citation



Ilustración 194: Mapa de cocitación para el comando Solid-state battery AND commercialization

La ilustración muestra que estructura intelectual de la investigación todavía se está formando.

7. Sodium-ion battery AND performance

7.1.Co-authorship

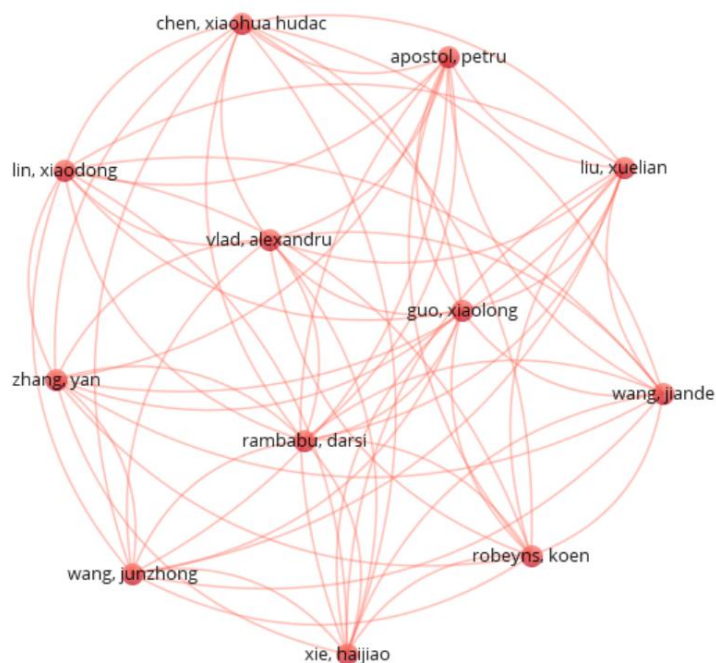


Ilustración 195: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance

El mapa muestra una red de algunos autores con escasos autores recurrentes.

7.2.Co-occurrence

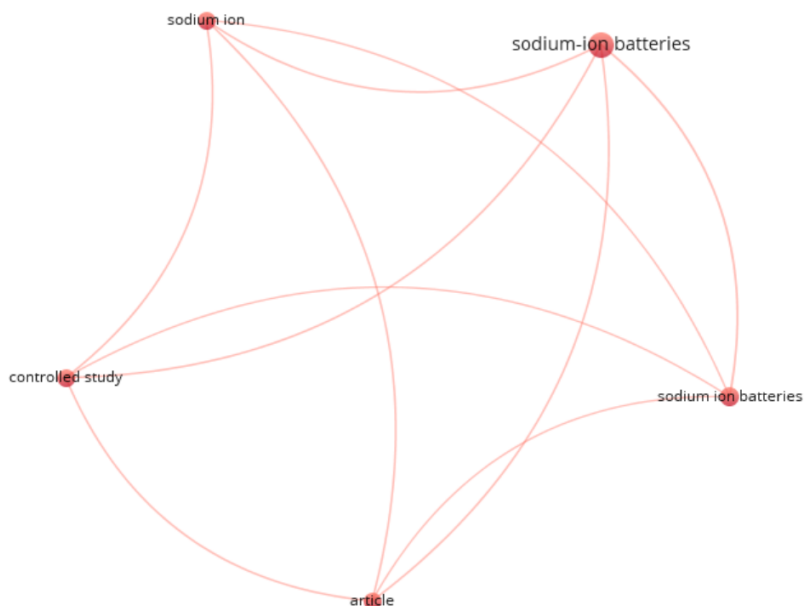


Ilustración 196: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Sodium-ion battery AND performance

El enfoque está en el rendimiento y en materiales distintos al litio.

7.3.Citation

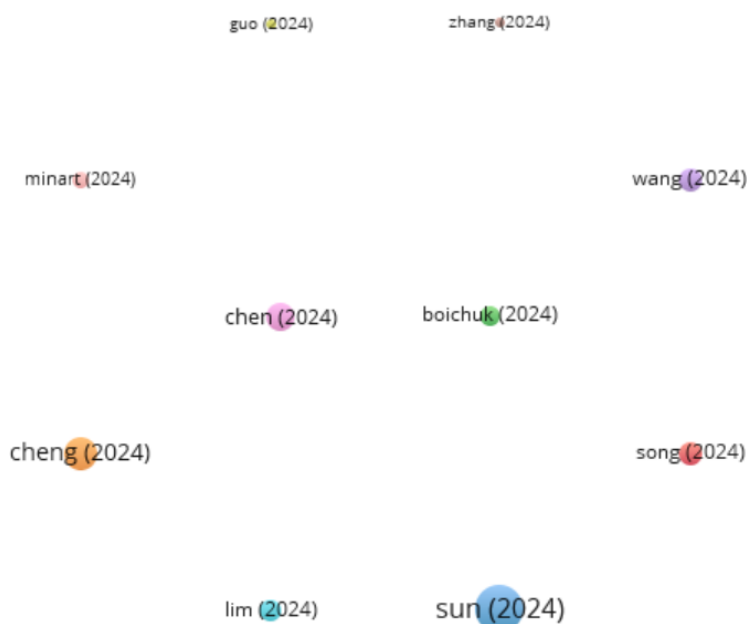


Ilustración 197: Batería de iones de sodio Y tarjeta de referencia del equipo de rendimiento

Otros tienen una indexación baja, generalmente para nuevas líneas.

7.4.Bibliographic coupling

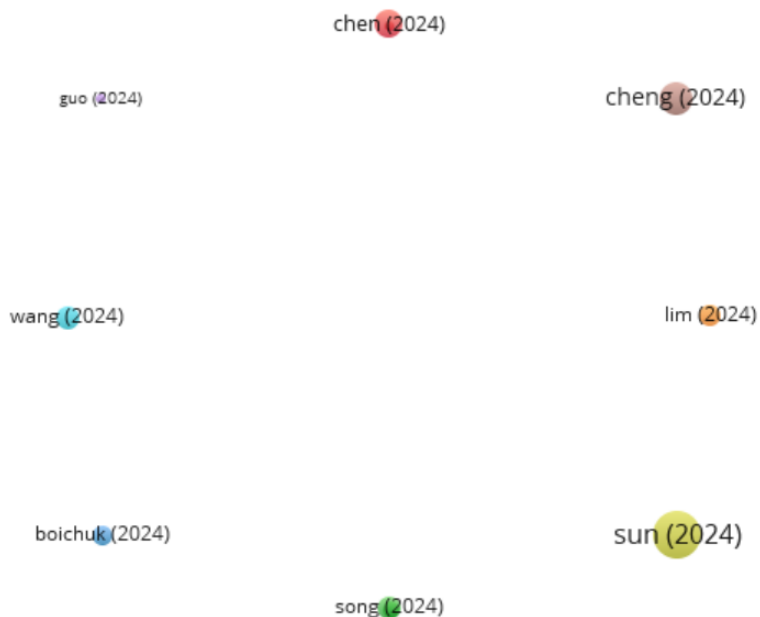


Ilustración 198: Diagrama de cableado bibliográfico para batería de iones de sodio y equipo de rendimiento

El mapa muestra que hay una fragmentación temática.

7.5.Co-citation

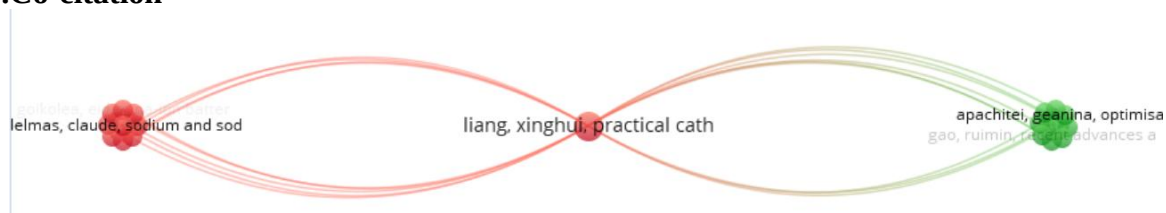


Ilustración 199: Mapa de cocitación para el comando Sodium-ion battery AND performance

La revisión bibliográfica está en curso.

8. Hybrid battery AND lifetime

8.1.Co-authorship

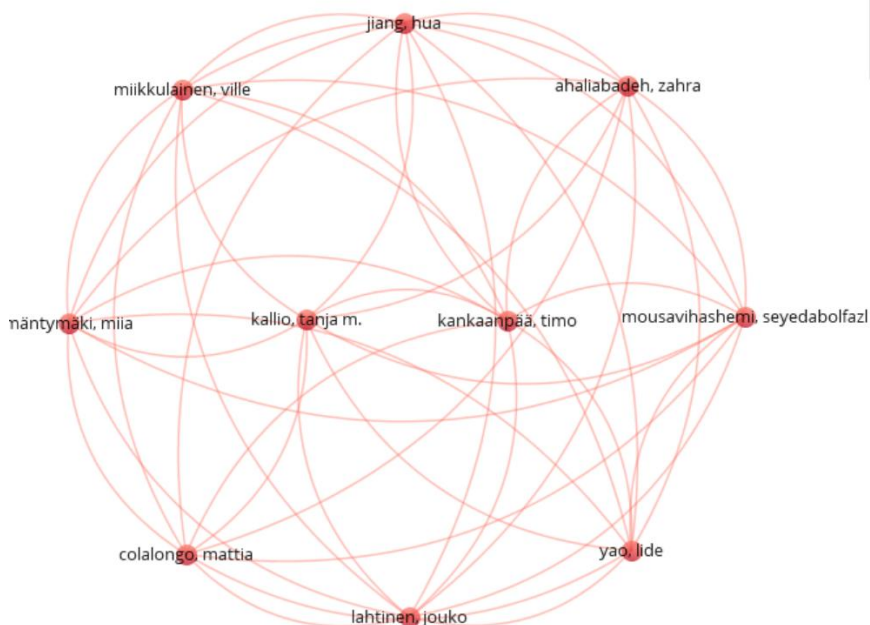


Ilustración 200: Mapa de coautoría para el comando Hybrid battery AND lifetime

En este mapa existen redes interdisciplinarias con colaboración moderada.

8.2.Co-occurrence



Ilustración 201: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Hybrid battery AND lifetime

Los términos mostrados en la ilustración se refieren a la durabilidad y a sistemas armonizados.

8.3.Citation



ghadbane (2024)

ahluwalia (2024)

ahaliabadeh (2024)

mylonopoulos (2024)

alam (2024)

han (2024)

yu (2024)

ünlübayir (2024)

apostolopoulou (2024)

wang (2024)

Ilustración 202: Mapa de citación para el comando Hybrid battery AND lifetime

Se demuestra un impacto promedio de los documentos clave.

8.4. Bibliographic coupling

ghadbane (2024)

ahluwalia (2024)

ahaliabadeh (2024)

yu (2024)

alam (2024)

mylonopoulos (2024)

apostolopoulou (2024)

han (2024)

wang (2024)

Ilustración 203: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Hybrid battery AND lifetime

Se demuestra una convergencia de estudios en cierta medida.

8.5. Co-citation



Ilustración 204: Mapa de cocitación para el comando Hybrid battery AND lifetime

Mapa conceptual funcional.

9. Battery efficiency AND charging

9.1.Co-authorship

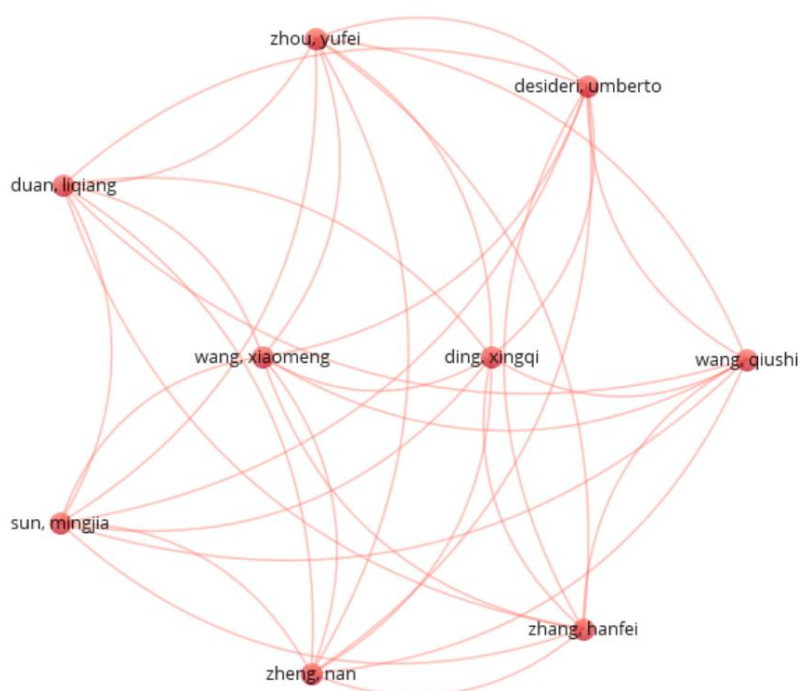


Ilustración 205: Mapa de coautoría para el comando Battery efficiency AND charging

La figura ilustración redes activas en las que los únicos nodos son los autores, y estos presentan una alta interacción.

9.2.Co-occurrence

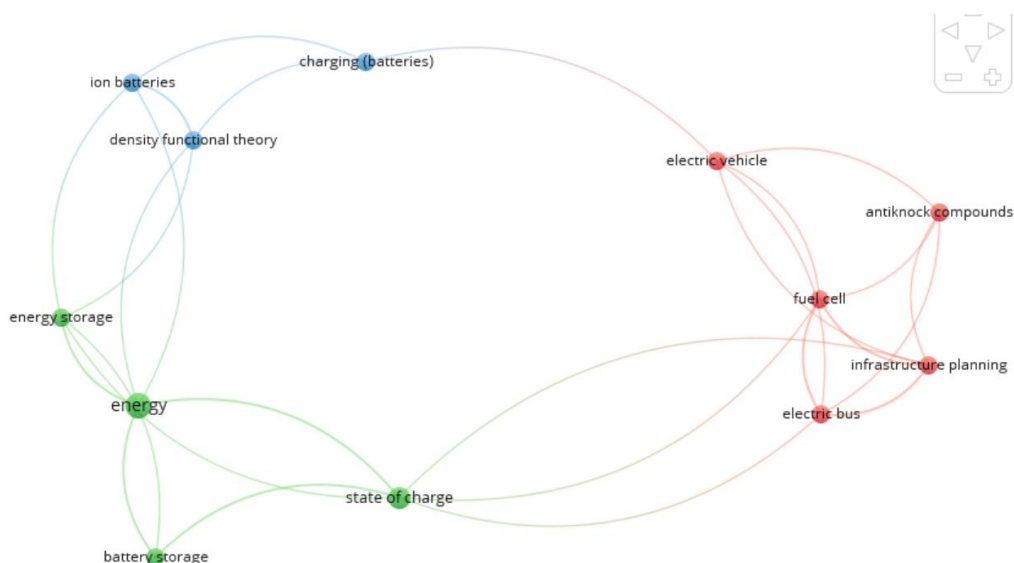


Ilustración 206: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery efficiency AND charging

Alta presencia de términos relacionados con: servicio de descargas rápidas y eficiente.

9.3.Citation

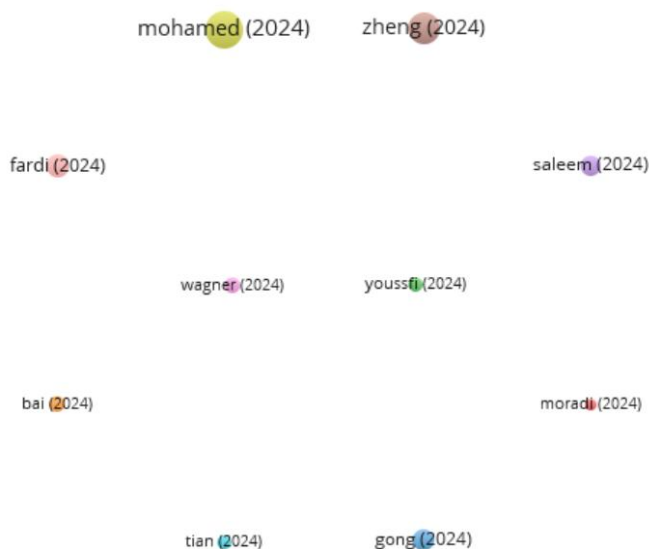


Ilustración 207: Mapa de citación para el comando Battery efficiency AND charging

Documentos recientes sobre las crisis económicas tiene un impacto creciente.

9.4.Bibliographic coupling



youssef (2024)

moradi (2024)

saleem (2024)

gong (2024)

mohamed (2024)

tian (2024)

zheng (2024)

bai (2024)

fardi (2024)

wagner (2024)

Ilustración 208: Mapa de enlaces bibliográficos del comando Eficiencia de batería Y carga

Alto nivel de similitud temática.

9.5.Co-citation

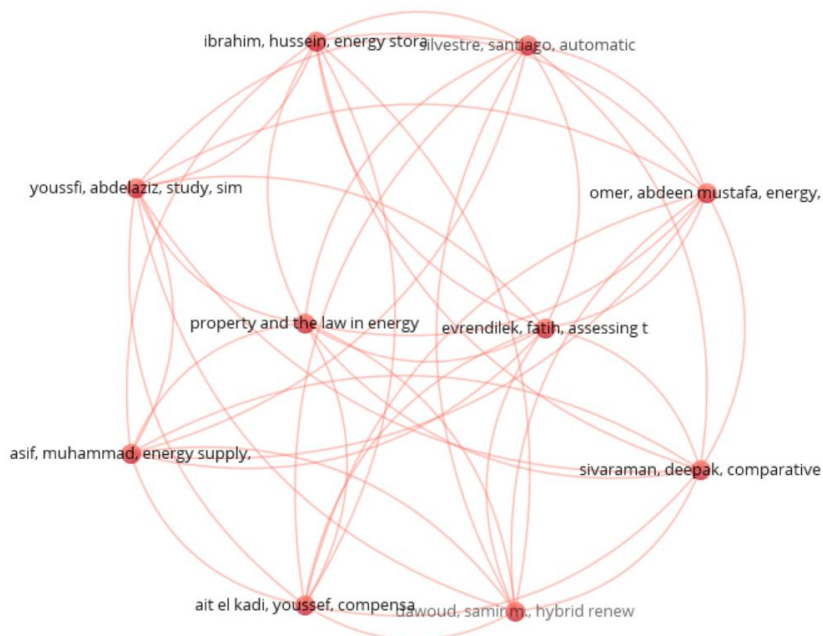


Ilustración 209: Mapa de cocitación para el comando Battery efficiency AND charging

Estructura conceptual expandiéndose.



10. Battery lifespan AND Li-ion

10.1. Co-authorship

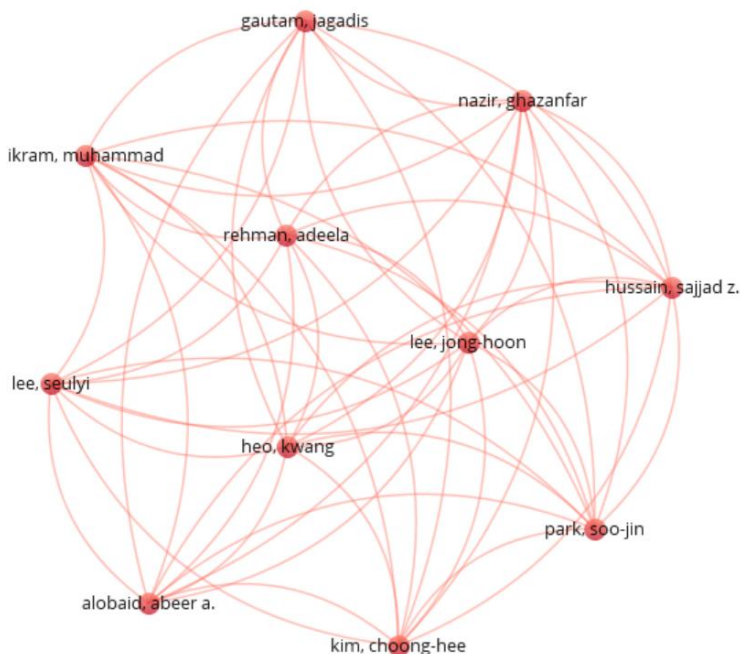


Ilustración 210: Mapa de coautoría para el comando Battery lifespan AND Li-ion

Se observan redes bien estructuradas y consolidadas.

10.2. Co-occurrence



Ilustración 211: Mapa de coexistencia de duración de la batería y plazos de comando de iones de litio

La imagen incluye términos comunes relacionados con los ciclos y el envejecimiento.

10.3. Citation



chandakhiaw (2024)

nazir (2024)

wang (2024)

levchenko (2024)

mušović (2024)

sudiarto (2024)

an (2024)

ria (2024)

ma (2024)

gambino (2024)

Ilustración 212: Mapa de citación para el comando Battery lifespan AND Li-ion

La ilustración muestra referencias muy citadas.

10.4. Bibliographic coupling

wang (2024)

gambino (2024)

an (2024)

Ilustración 213: Mapa de enlaces bibliográficos para la duración de la batería Y el equipo de iones de litio

El mapa tiene una alta convergencia temática.

10.5. Co-citation

unn, bruce s. electrical ene

asadi dalini, e. a review of

Ilustración 214: Tarjeta de felicitación por la duración de la batería Y el equipo de Li-ion

La ilustración muestra la estabilidad teórica del núcleo.

11. Battery thermal management AND vehicle

11.1. Co-authorship



Ilustración 215: Mapa de coautoría para el comando Battery thermal management AND vehicle

El mapa ilustra grupos de trabajo técnicos especializados muy definidos.

11.2. Co-occurrence

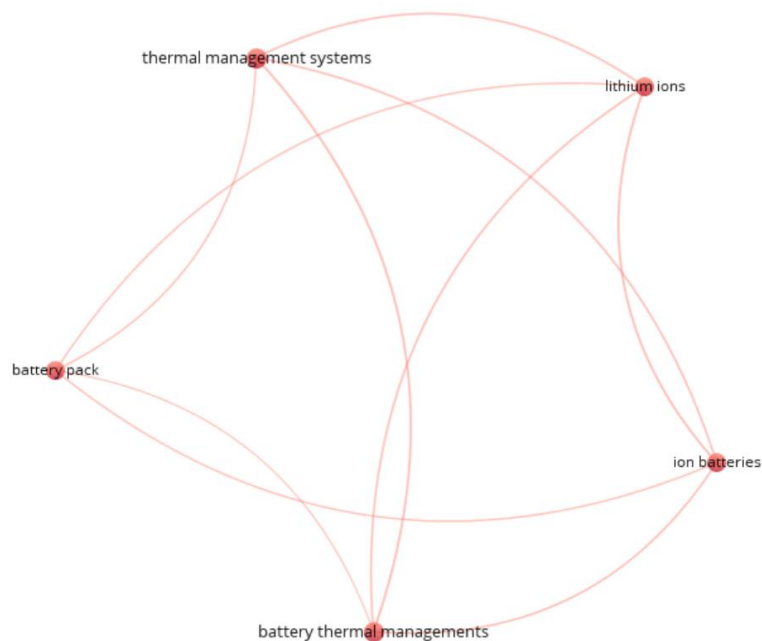


Ilustración 216: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery thermal management AND vehicle

La red presenta Fuerte presencia de gestión térmica.

11.3. Citation



gasmelseed (2024a)

tian (2024)

li (2024)

gasmelseed (2024b)

longchamps (2024) grebtsov (2024)

choi (2024)

zhang (2024)

nema (2024)

ria (2024)

Ilustración 217: Mapa de citación para el comando Battery thermal management AND vehicle

El mapa de citación exhibe informes técnicos que han tenido un gran impacto.

11.4. Bibliographic coupling



Ilustración 218: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery thermal management AND vehicle

La red muestra una alta coherencia metodológica.

11.5. Co-citation

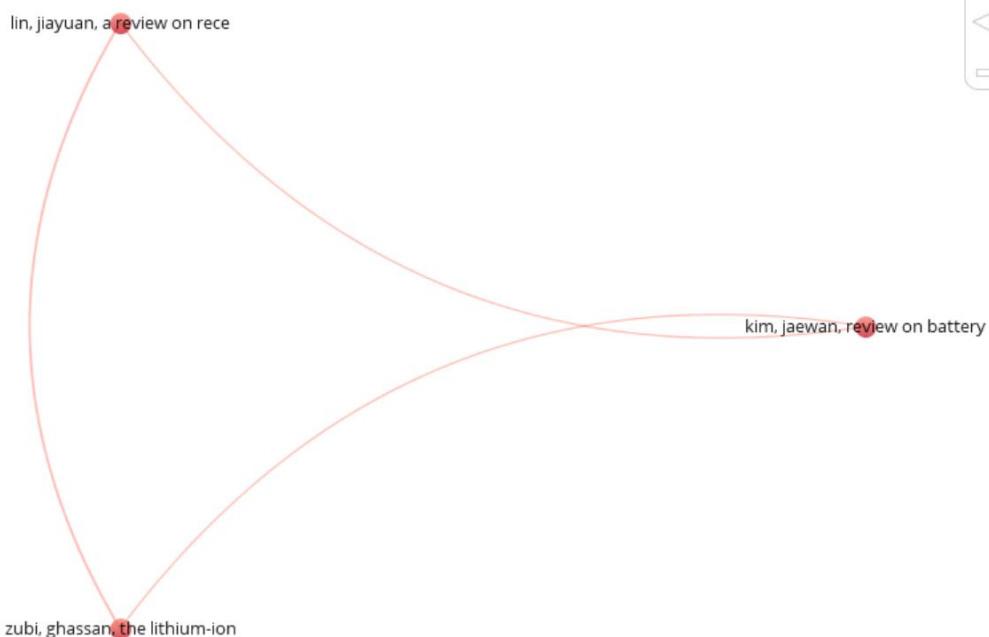


Ilustración 219: Mapa de cocitación para el comando Battery thermal management AND vehicle

Campo teóricamente formado.

12. Battery safety AND thermal runaway

12.1. Co-authorship

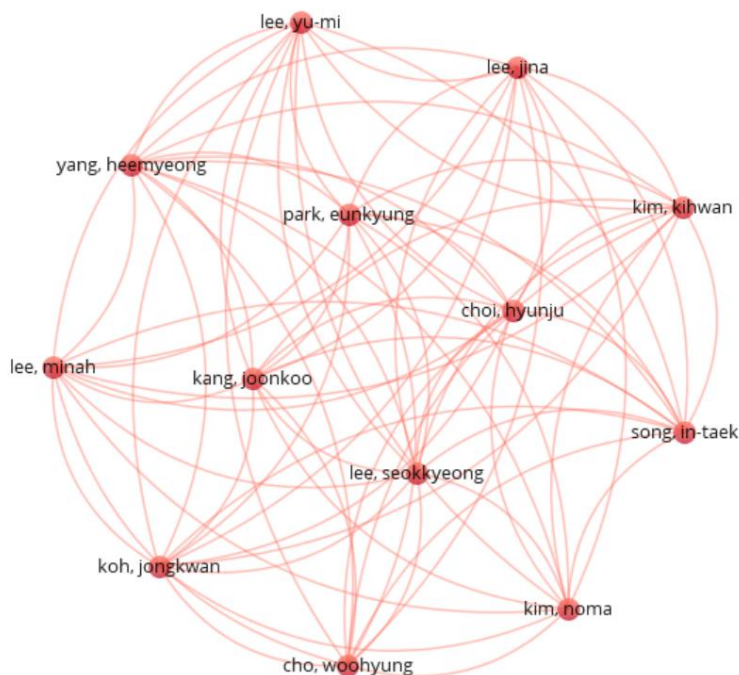


Ilustración 220: Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway

El mapa ilustra redes concentradas en autores expertos en seguridad.

12.2. Co-occurrence

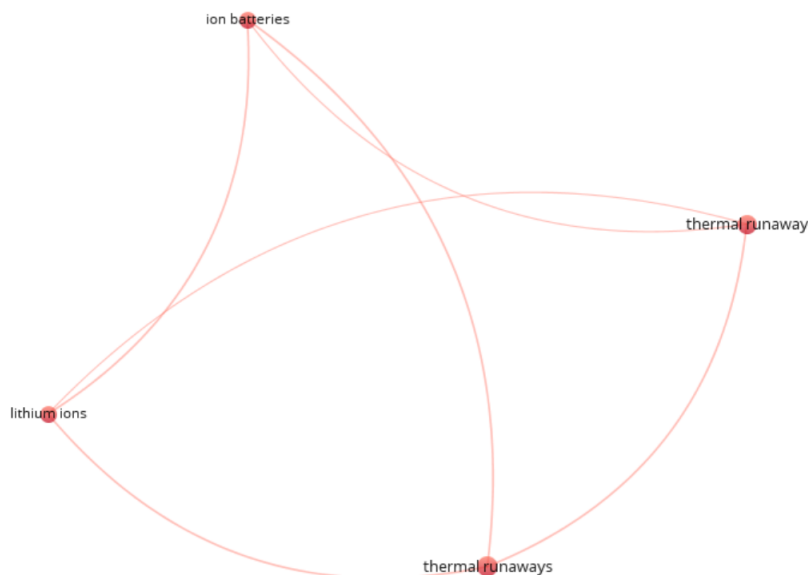


Ilustración 221: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery safety AND thermal runaway

Aquí existe una alta densidad de términos críticos.



12.3. Citation

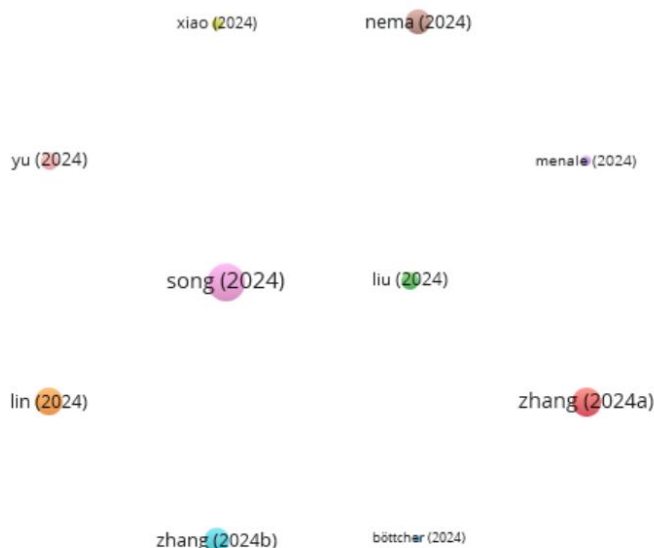


Ilustración 222: Mapa de citación para el comando Battery safety AND thermal runaway

Documentos y monografías de gran influencia.

12.4. Bibliographic coupling



Ilustración 223: Esquema Bibliográfico de Cableado para Seguridad de Baterías y Comando de Arranque Térmico

Alto contenido de similitud temática.

12.5. Co-citation



Ilustración 224: Mapa de cocitación para el comando Battery safety AND thermal runaway

Fuerte núcleo intelectual.

13. Battery cost AND electric vehicles

13.1. Co-authorship

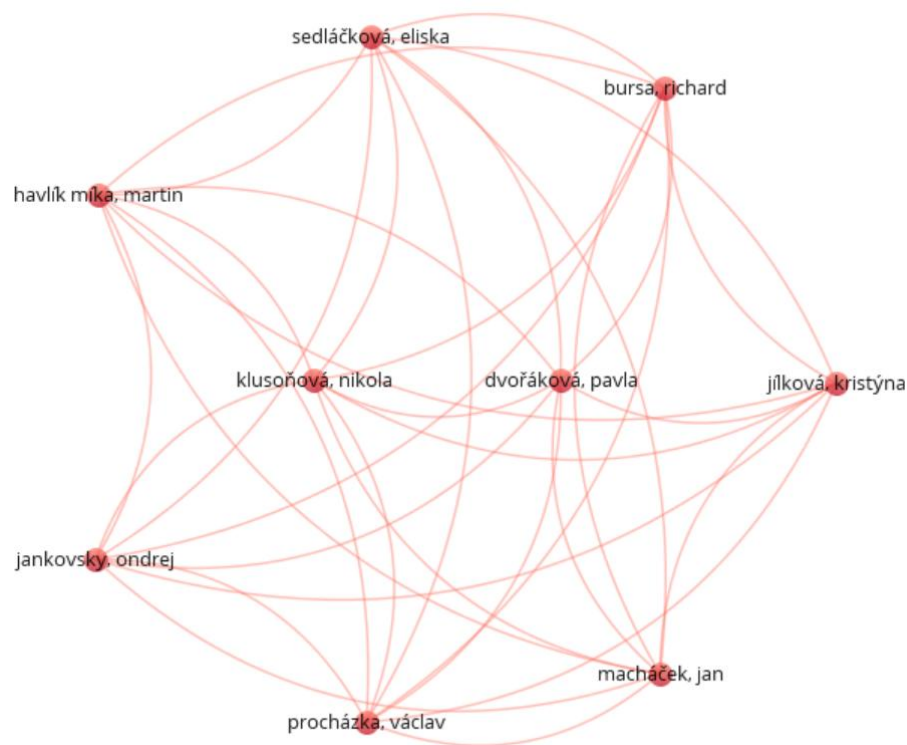


Ilustración 225: Mapa de coautoría para el comando Battery cost AND electric vehicles

El mapa indica redes interdisciplinarias.

13.2. Co-occurrence

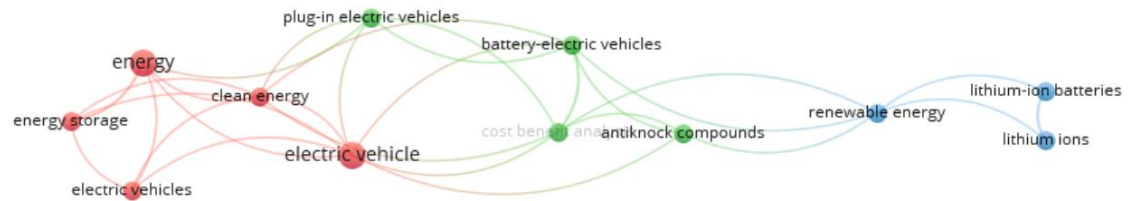


Ilustración 226: Mapa de coincidencia temporal para costos de baterías y equipo de vehículos eléctricos

El mapa muestra una combinación de términos económicos y tecnológicos.

13.3. Citation

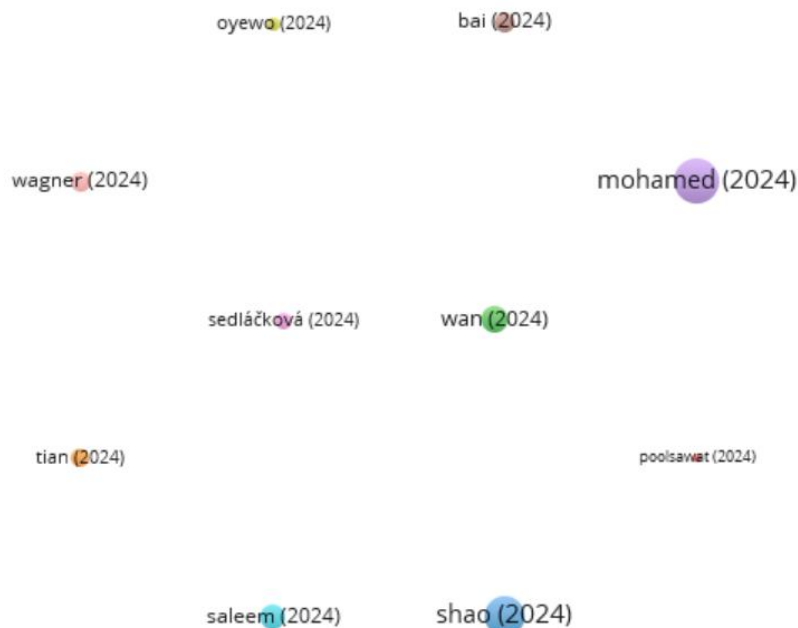


Ilustración 227: Mapa de citación para el comando Battery cost AND electric vehicles

Mapa que demuestra un impacto medio-bueno.

13.4. Bibliographic coupling



wan (2024)

poolsawat (2024)

mohamed (2024)

shao (2024)

oyewo (2024)

saleem (2024)

bai (2024)

tian (2024)

wagner (2024)

sedláčková (2024)

Ilustración 228: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery cost AND electric vehicles

Existe una convergencia parcial.

13.5. Co-citation

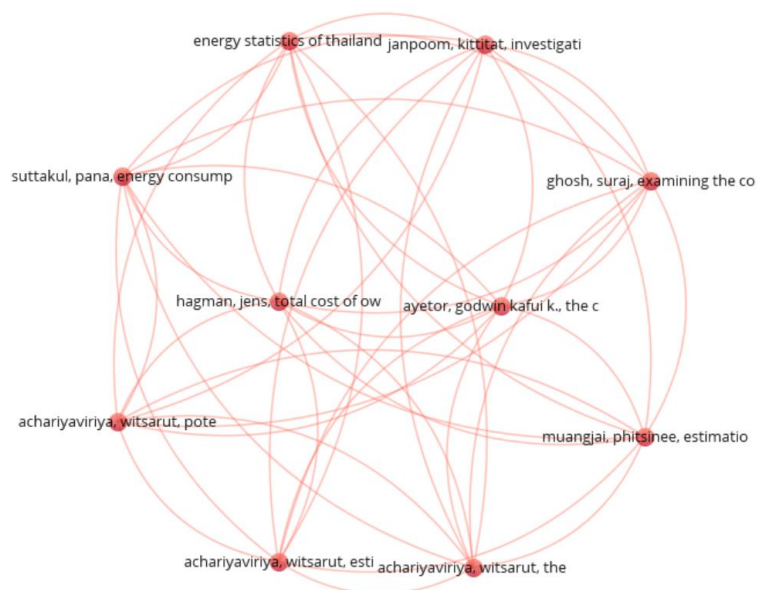


Ilustración 229: Mapa de cocitación para el comando Battery cost AND electric vehicles

Mapa de red mixto.

14. Battery recycling AND lithium-ion

14.1. Co-authorship

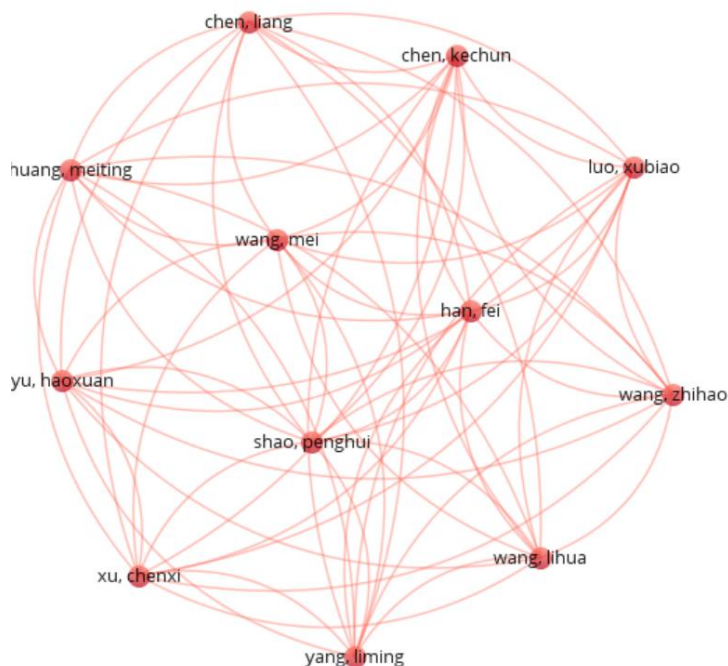


Ilustración 230: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion

Redes en crecimiento reciente.

14.2. Co-occurrence

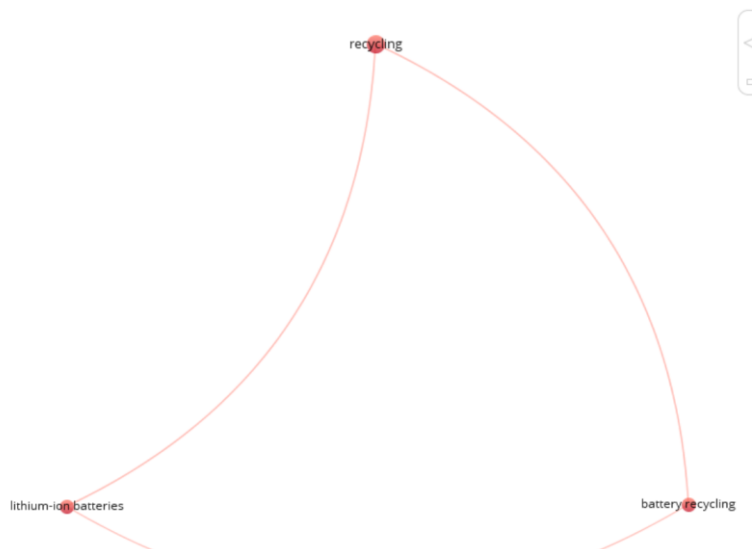


Ilustración 231: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery recycling AND lithium-ion

Alta presencia de reciclaje y sostenibilidad.

14.3. Citation

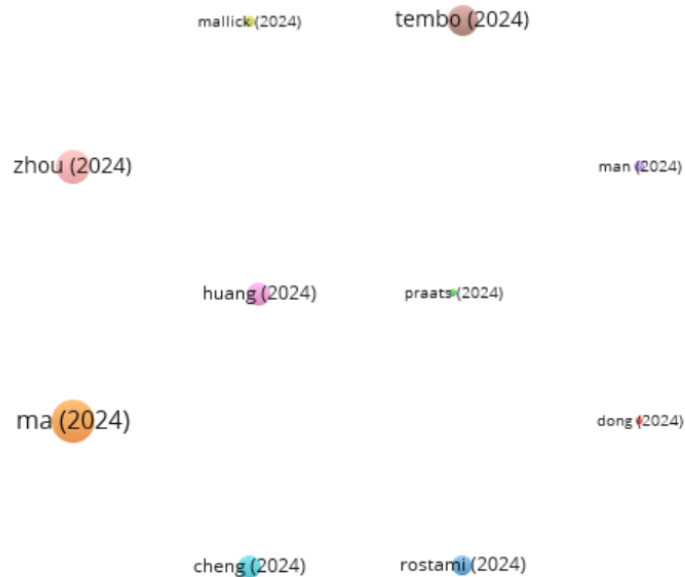


Ilustración 232: Mapa de citación para el comando Battery recycling AND lithium-ion

El mapa muestra un impacto creciente.

14.4. Bibliographic coupling

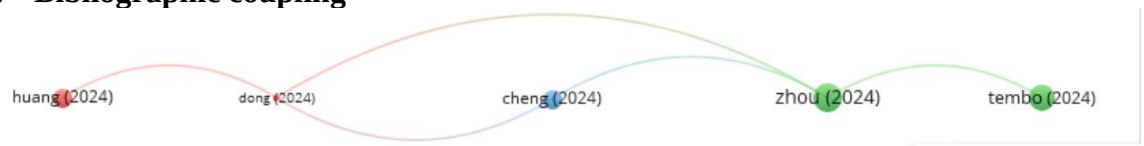


Ilustración 233: Mapa de enlaces bibliográficos del equipo de Reciclaje de Baterías E Iones de Litio

La red indica una convergencia moderada.

14.5. Co-citation



Ilustración 234: Mapa de cocitación para el comando Battery recycling AND lithium-ion

Base teórica en crecimiento.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

15.1. Co-authorship

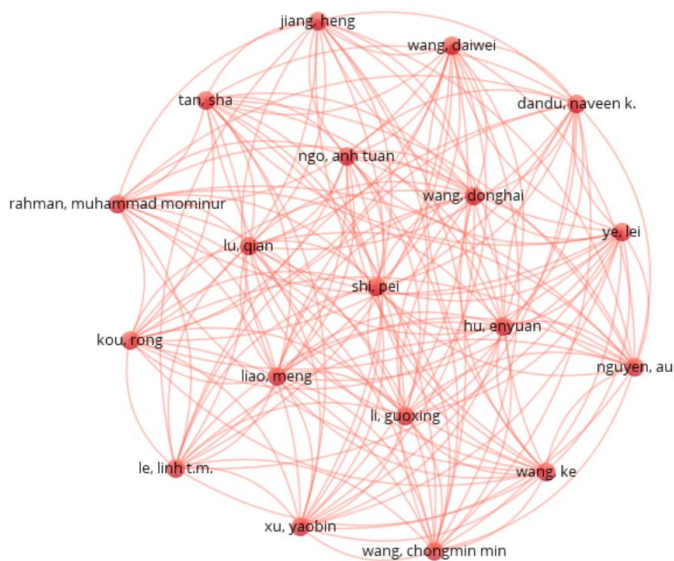


Ilustración 235: Mapa de coautoría para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

Pequeñas redes en el lado exploratorio.

15.2. Co-occurrence

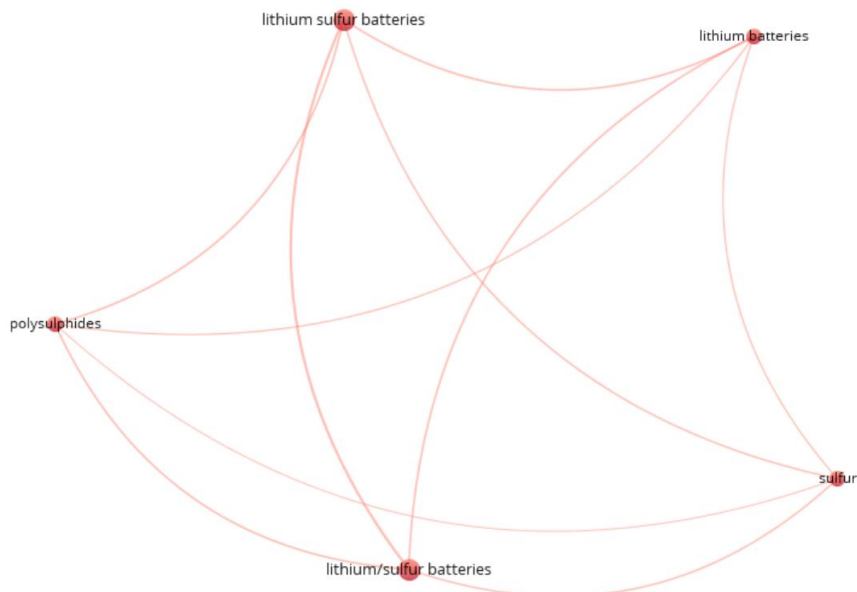


Ilustración 236: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

Se muestran palabras relacionadas con alta densidad futura.

15.3. Citation

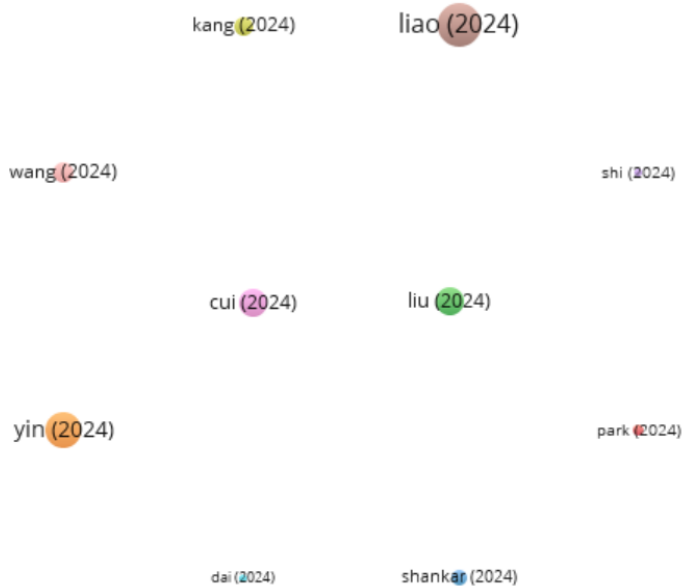


Ilustración 237: Mapa de citación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

Mapa moderado con bajo impacto.

15.4. Bibliographic coupling

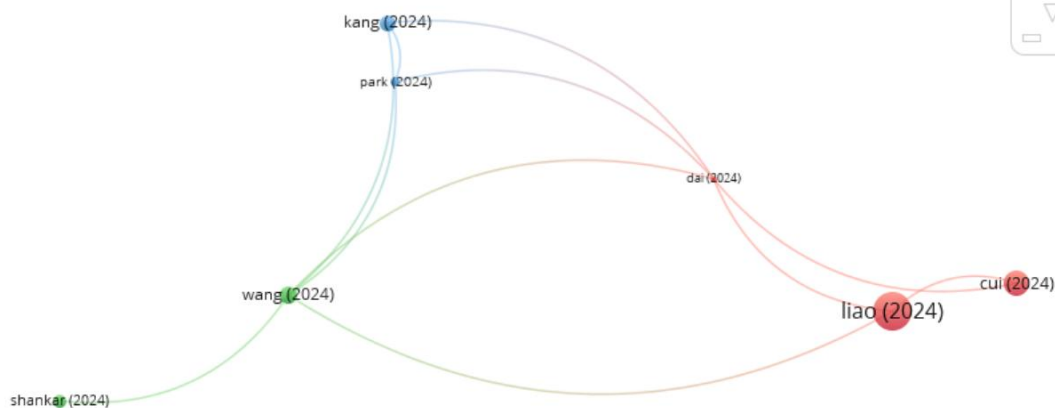


Ilustración 238: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

En esta ilustración se indica poca similitud temática.

15.5. Co-citation

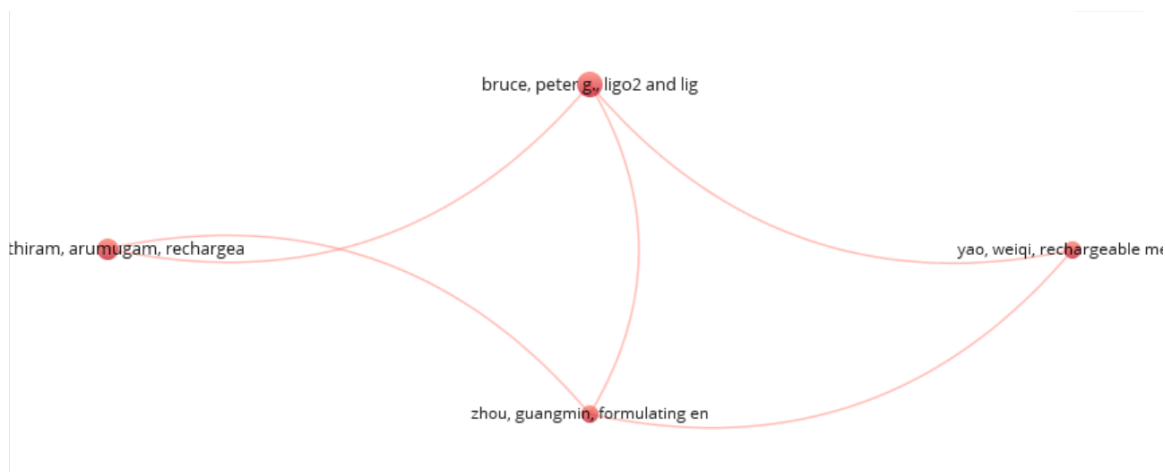


Ilustración 239: Mapa de cocitación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

En la ilustración se muestra una estructura incisiva.

16. Aluminum-air battery AND mobility

16.1. Co-authorship

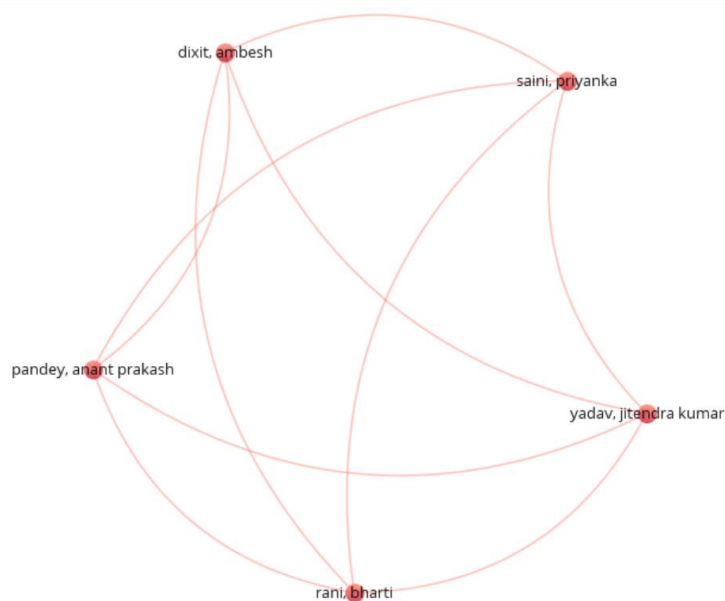


Ilustración 240: Mapa de coautoría para el comando Aluminum-air battery AND mobility

La ilustración indica redes muy extendidas.

16.2. Co-occurrence

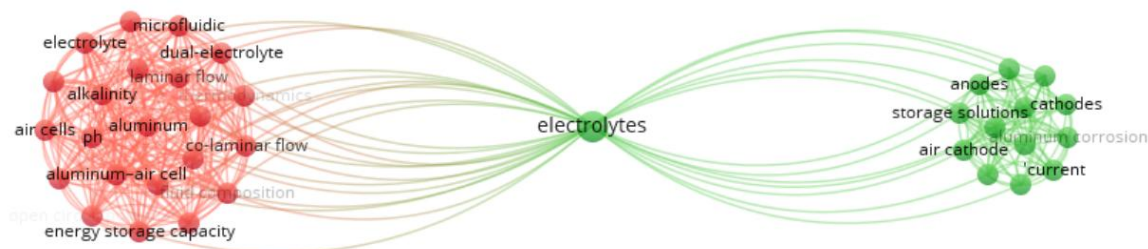


Ilustración 241: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Aluminum-air battery AND mobility

El mapa presenta baja densidad de términos.

16.3. Citation

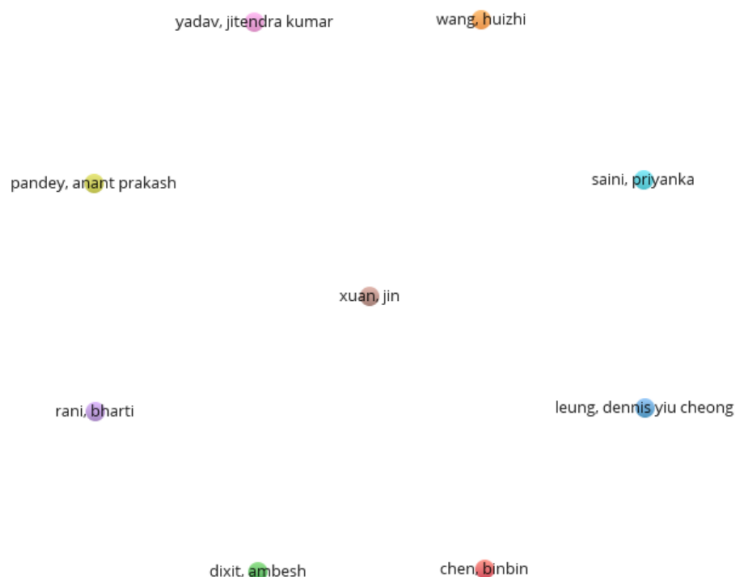


Ilustración 242: Mapa de citación para el comando Aluminum-air battery AND mobility

El mapa presenta un impacto compuesto bajo.

16.4. Bibliographic coupling

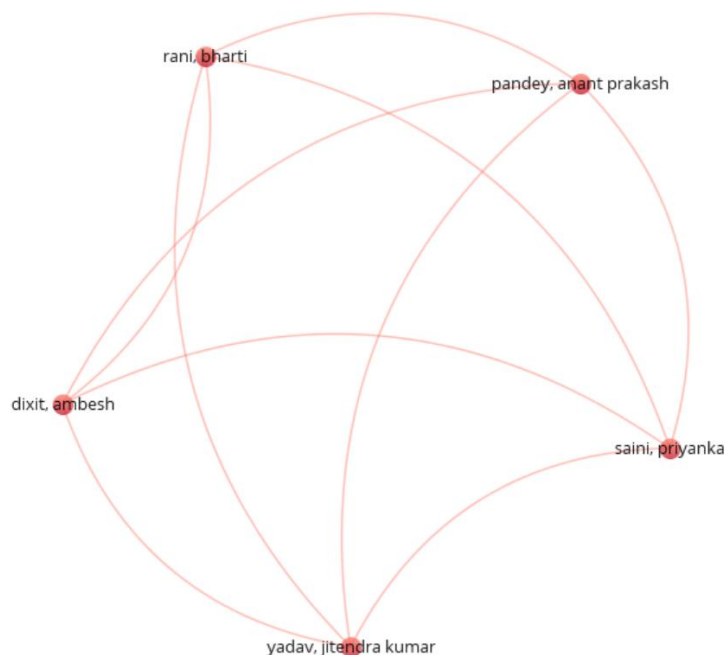


Ilustración 243: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Aluminum-air battery AND mobility

La red presenta una alta fragmentación.

16.5. Co-citation

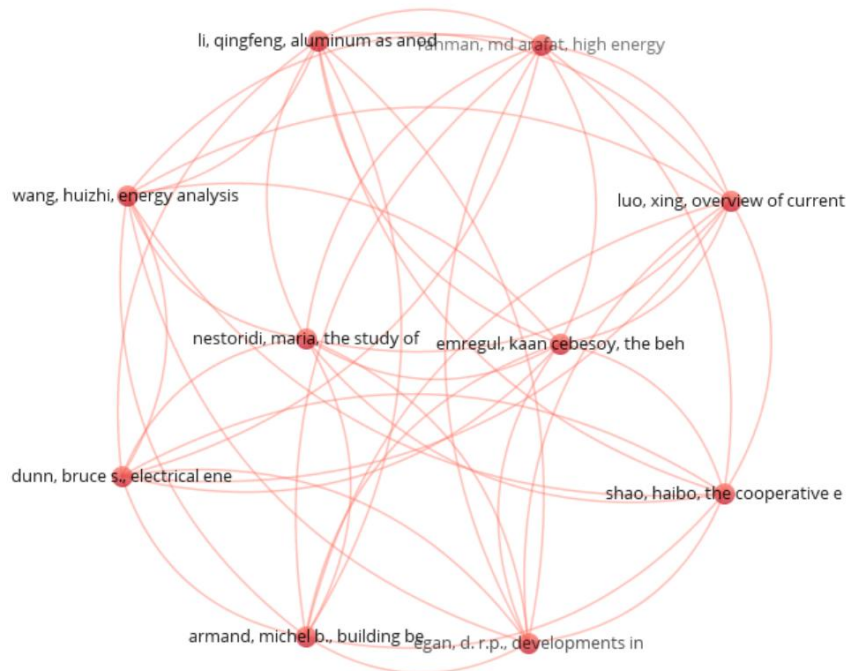


Ilustración 244: Mapa de cocitación para el comando Aluminum-air battery AND mobility

La red presenta un marco teórico débil.



17. Fast charging AND Li-ion battery

17.1. Co-authorship

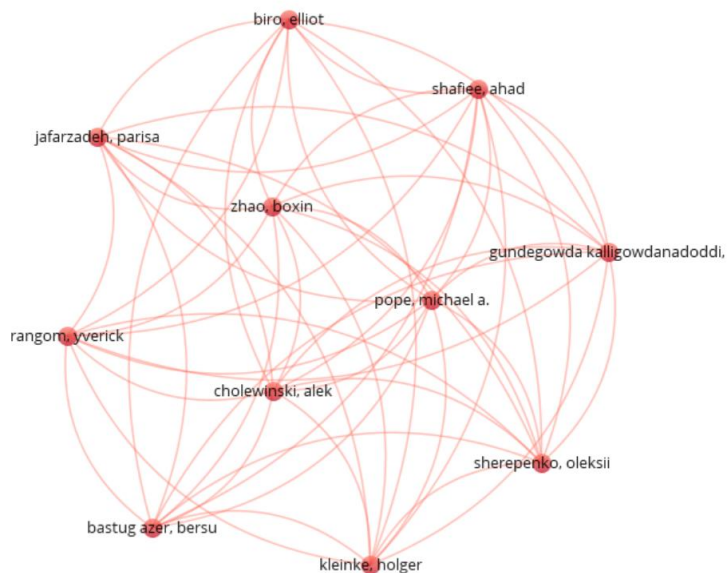


Ilustración 245: Mapa de coautoría para el comando Fast charging AND Li-ion battery

En la ilustración se ven redes dinámicas y cooperativas.

17.2. Co-occurrence

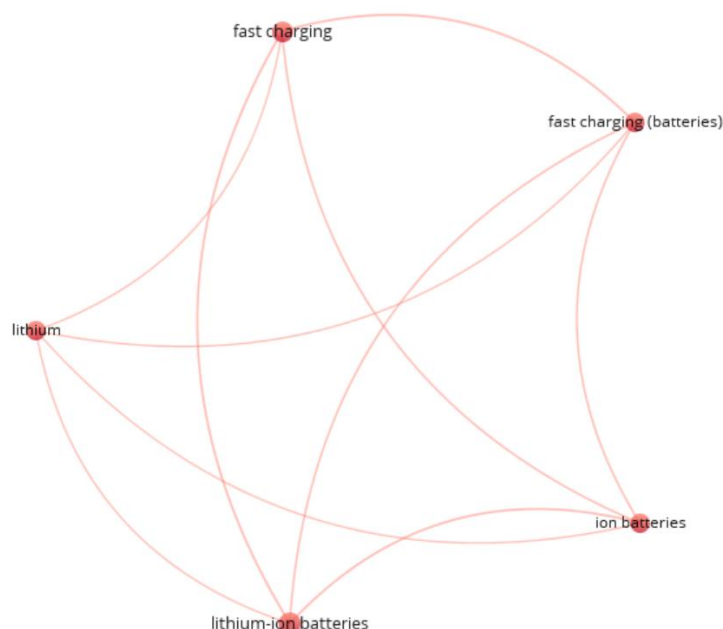


Ilustración 246: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Fast charging AND Li-ion battery



En los términos concurrentes existe una alta tasa de carga rápida.
17.3. Citation

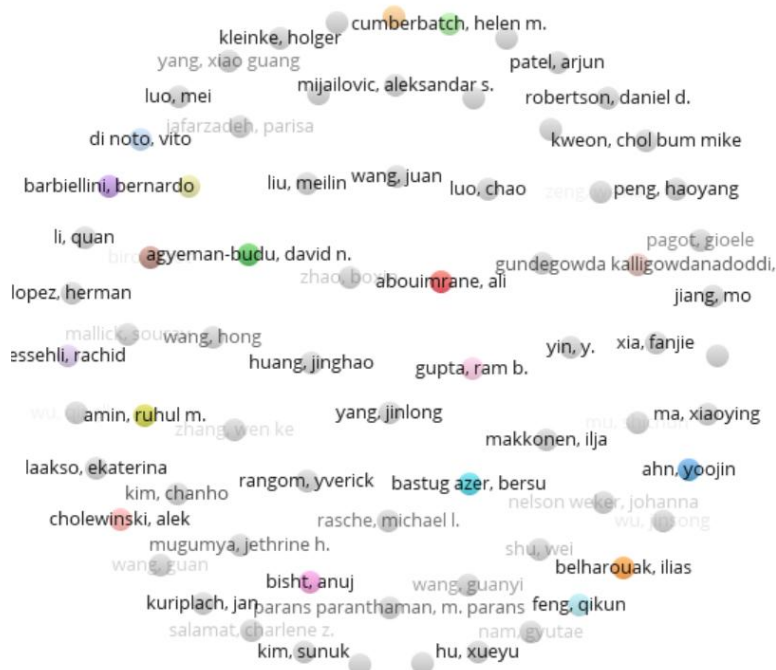


Ilustración 247: Mapa de citación para el comando Fast charging AND Li-ion battery

En esta ocasión se muestran documentos citados recientemente por otros documentos de todo el mundo.

17.4. Bibliographic coupling



Ilustración 248: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Fast charging AND Li-ion battery

Se muestra una alta convergencia temática.

17.5. Co-citation

abling fast charging a techn

deng, jie, electric vehicles

Ilustración 249: Mapa de cocitación para el comando Fast charging AND Li-ion battery



La ilustración presenta un núcleo en consolidación.

18. Energy storage AND battery degradation

18.1. Co-authorship

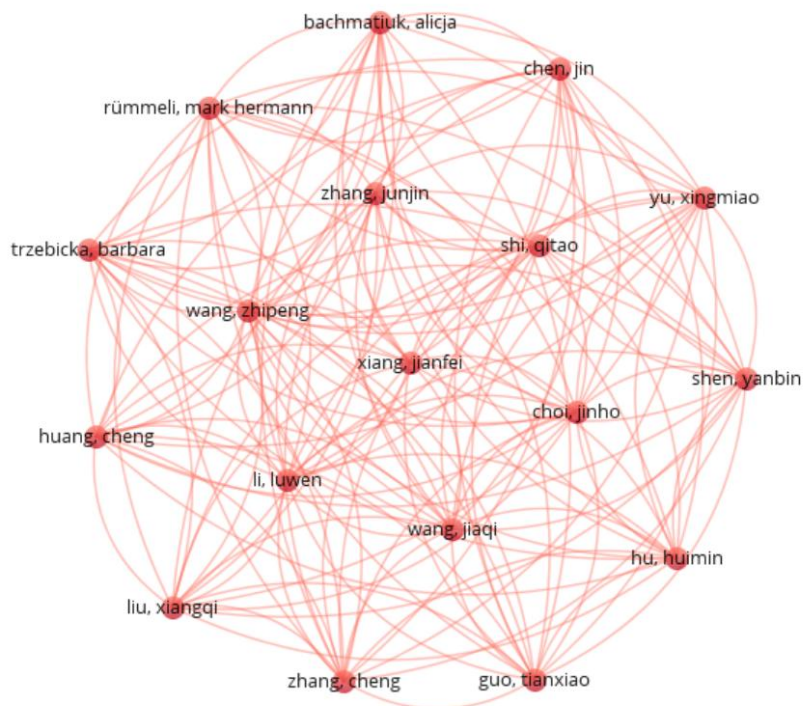


Ilustración 250: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation

Se presenta en el mapa una teoría de redes e interdisciplinaria.

18.2. Co-occurrence



Ilustración 251: Mapa conceptual del equipo de almacenamiento de energía Y degradación de baterías

Interacción entre el almacenamiento y degradación

18.3. Citation

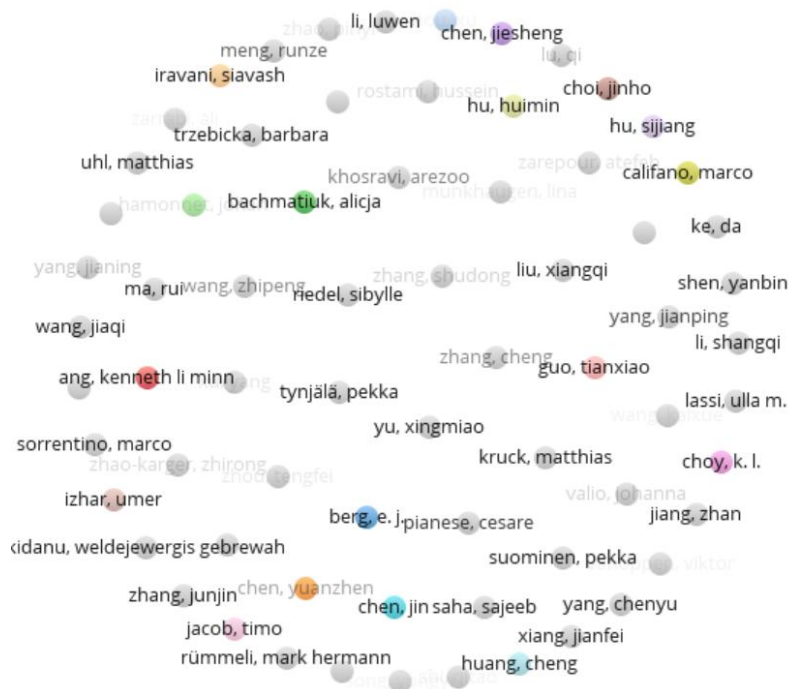


Ilustración 252: Tarjeta de referencia del equipo de almacenamiento de energía y degradación de baterías



Impacto moderado en las citas.

18.4. Bibliographic coupling

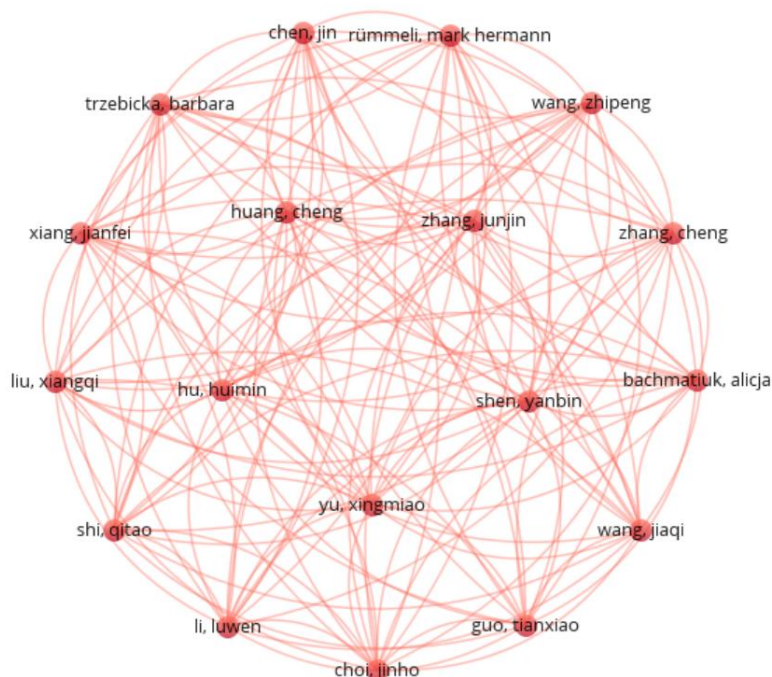


Ilustración 253: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Energy storage AND battery degradation

En el mapa se ilustra una convergencia moderada y justa.

18.5. Co-citation

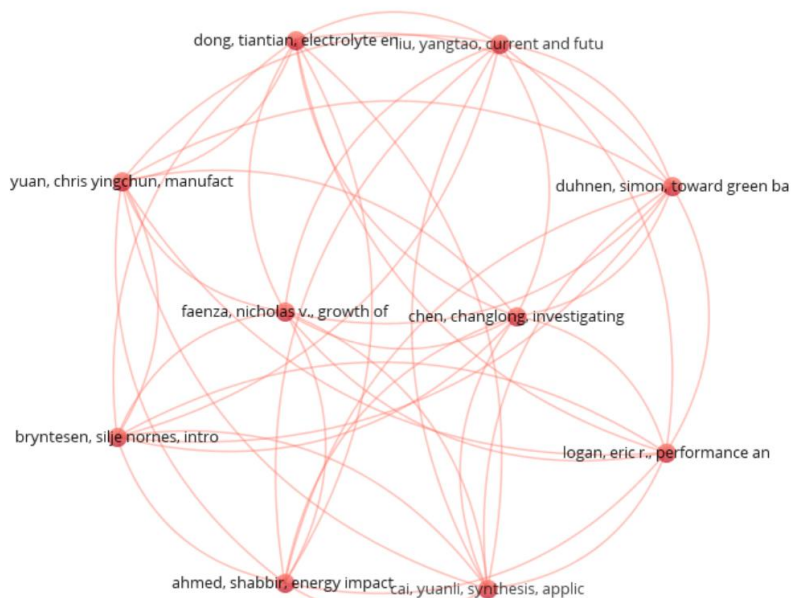


Ilustración 254: Mapa de cocitación para el comando Energy storage AND battery degradation



La red es teórica congruente.

19. Commercial battery AND vehicle

19.1. Co-authorship

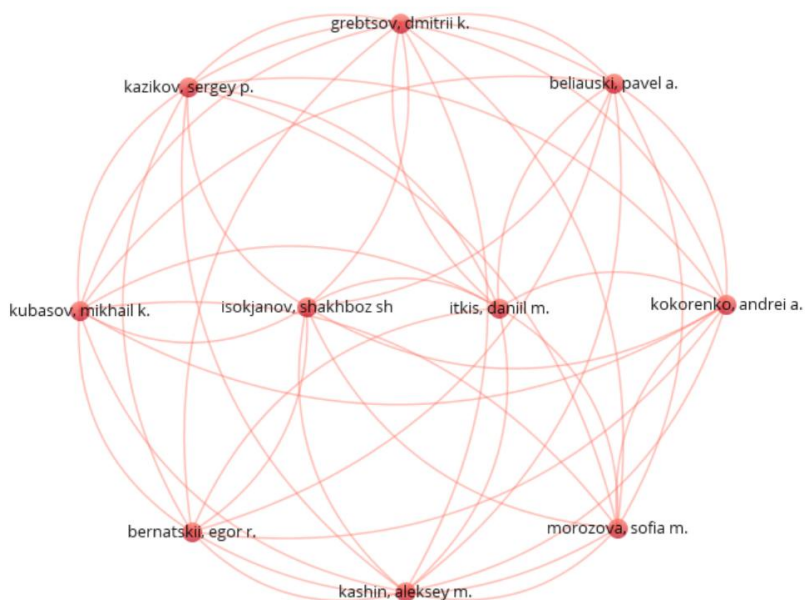


Ilustración 255: Mapa de coautoría para el comando Commercial battery AND vehicle

En la ilustración se presentan amplias redes, pero poco densas.

19.2. Co-occurrence

Ilustración 256: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando *Commercial battery AND vehicle*

La red muestra un enfoque generalista.

19.3. Citation

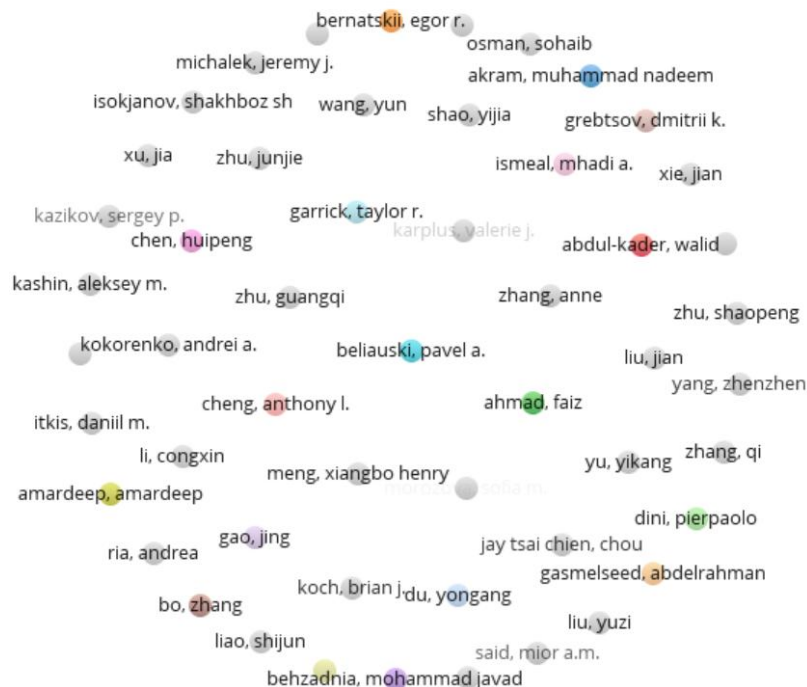


Ilustración 257: Mapa de citación para el comando Commercial battery AND vehicle



El mapa de citación tiene efecto promedio.

19.4. Bibliographic coupling

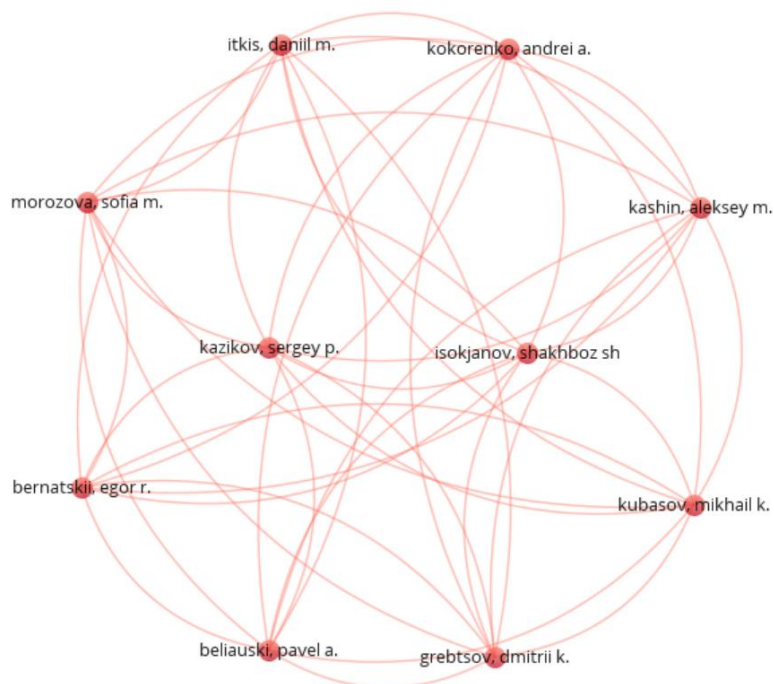


Ilustración 258: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Commercial battery AND vehicle

La red presenta una variedad de temas.

19.5. Co-citation

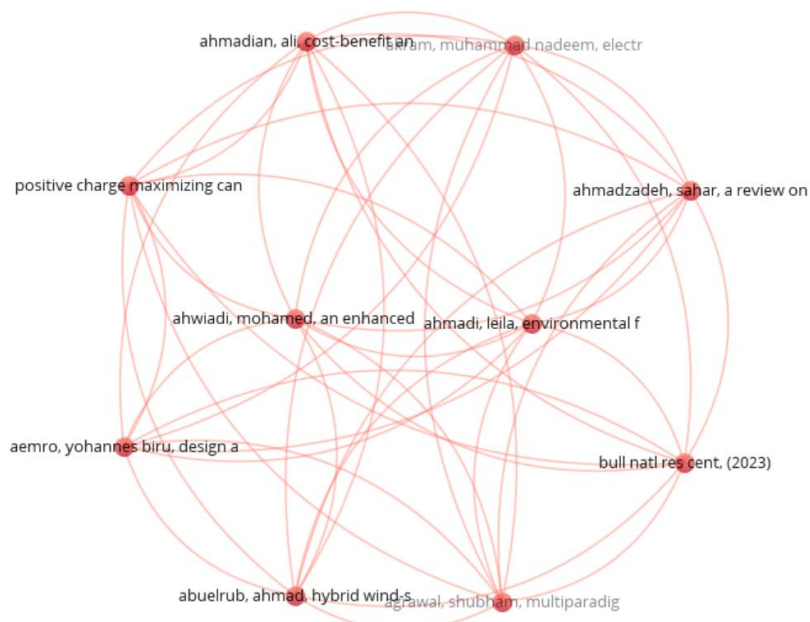


Ilustración 259: Mapa de cocitación para el comando Commercial battery AND vehicle



Se muestra un marco conceptual amplio.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

20.1. Co-authorship

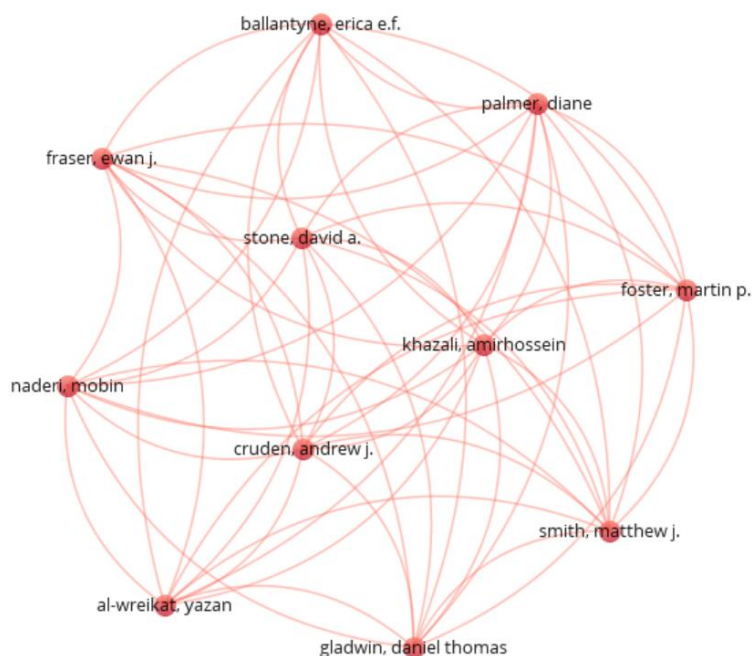


Ilustración 260: Mapa de coautoría para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics

El mapa indica una red multidisciplinaria de autores.

20.2. Co-ocurrence

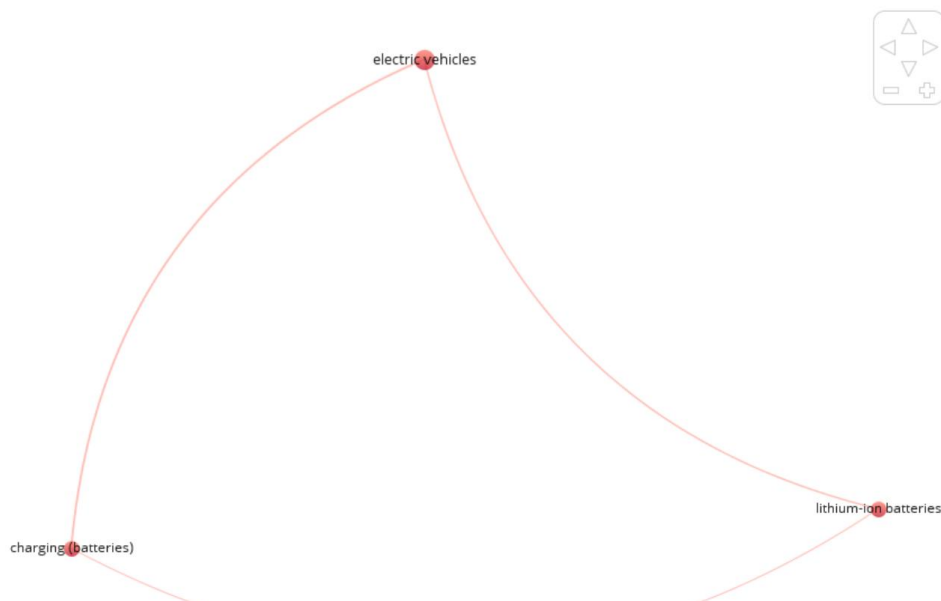


Ilustración 261: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

En esta ilustración se muestran términos técnicos muy variados.

20.3. Citation



Ilustración 262: Mapa de citación para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

El mapa muestra citaciones de documentos integrativos relevantes.



20.4. Bibliographic coupling

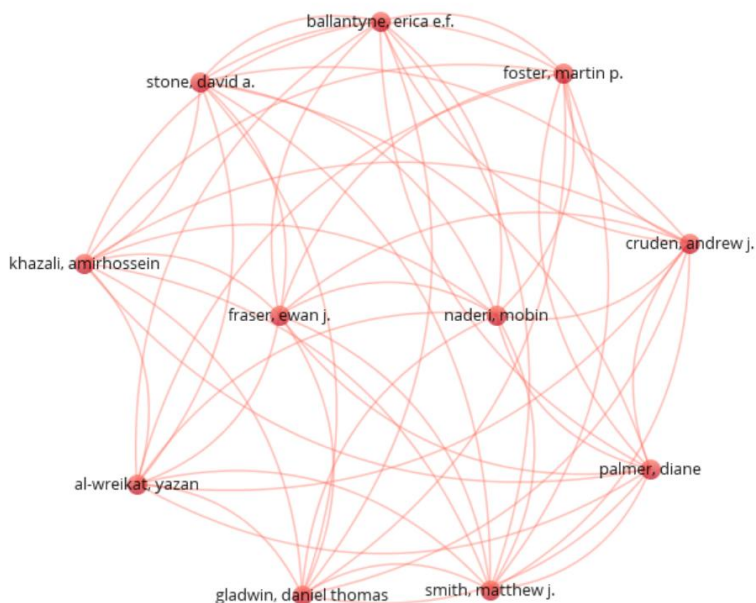


Ilustración 263: Tarjeta de conexión bibliográfica del equipo Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos

La red presenta una convergencia parcial.

20.5. Co-citation

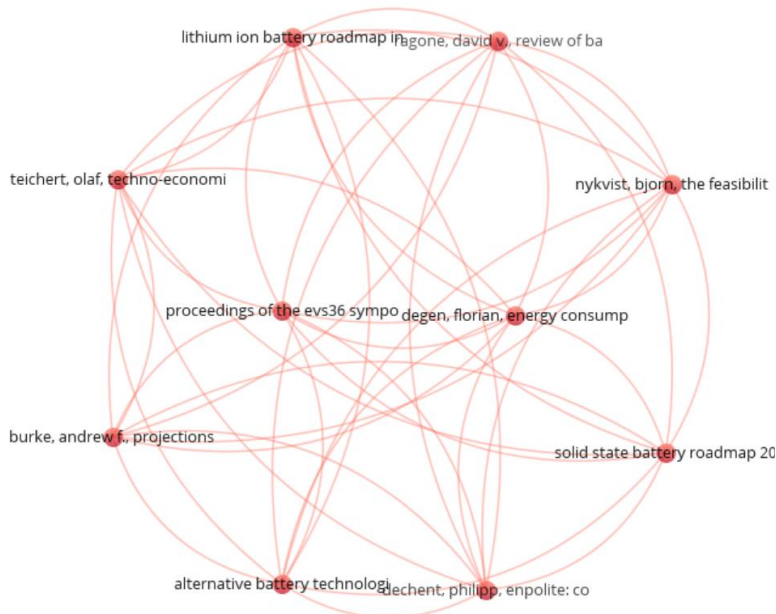


Ilustración 264: Mapa de referencia del equipo Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos

El mapa muestra conceptos básicos entrelazados.



Tras llevar a cabo un análisis visual de los mapas bibliométricos producidos con VOSviewer para los veinte comandos consultados en la base de datos Scopus, se considera adecuado realizar una síntesis de los resultados principales. Los mapas facilitaron descubrir patrones de colaboración científica, agrupaciones temáticas, grado de influencia de documentos, y estructuras conceptuales dominantes, lo que ofrece una visión cualitativa complementaria al análisis cuantitativo presentado anteriormente.

En este apartado, se presentan a continuación tablas resumen que aglutinan la información visual más importante, que permitirán interpretar de forma comparativa los resultados, y observar las tendencias de investigación, así como el grado de madurez científica de las diferentes tecnologías de baterías comerciales para vehículos eléctricos.

4.1.2.1. Resumen del análisis visual por comando

La siguiente tabla presenta de forma sistematizada los principales patrones a nivel de los mapas VOSviewer para cada uno de los comandos bibliométricos en Scopus. Incluyen resultados relacionados con cinco tipos diferentes de mapas: coautoría, coocurrencia de términos, citación, acoplamiento bibliográfico y cocitación, que reflejan el nivel de consolidación, cohesión temática y estructura científica de la línea de investigación.

Este resumen es del todo útil para comparar entre comandos y facilitar un reconocimiento claro de tecnologías estabilizadas, líneas de investigación en maduración y áreas nuevas o exploratorias en el área de las baterías productivas para aplicaciones en vehículos eléctricos.

Tabla 13: Resumen del análisis visual por comando

Comando bibliométrico	Coautoría	Co-ocurrencia	Citación	Acoplamiento bibliográfico	Cocitación	Interpretación general
Li-ion battery AND energy density	Redes consolidadas	Alta densidad temática	Alta concentración	Fuerte convergencia	Núcleos estables	Tecnología madura
Lithium-ion batteries AND battery degradation	Colaboración media	Clústeres técnicos	Referencias dominantes	Convergencia parcial	Base teórica sólida	Campo en optimización



Li-ion battery AND safety	Redes concentradas	Alta densidad temática	Alta citación	Fuerte convergencia	Núcleos estables	Área crítica y consolidada
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Redes pequeñas	Baja densidad	Citación histórica	Convergencia moderada	Marco clásico	Tecnología madura en declive
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Redes consolidadas	Clústeres técnicos	Citación media-alta	Alta convergencia	Núcleos estables	Tecnología madura y segura
Solid-state battery AND commercialization	Redes dispersas	Baja densidad	Citación limitada	Baja convergencia	Núcleos emergentes	Tecnología emergente
Sodium-ion battery AND performance	Redes incipientes	Términos periféricos	Baja citación	Convergencia débil	Marco en formación	Alternativa futura
Hybrid battery AND lifetime	Colaboración media	Densidad moderada	Citación media	Convergencia parcial	Marco funcional	Tecnología en optimización
Battery efficiency AND charging	Redes activas	Alta densidad temática	Citación creciente	Alta convergencia	Núcleos en expansión	Prioridad industrial
Battery lifespan AND Li-ion	Redes consolidadas	Clústeres técnicos	Alta citación	Fuerte convergencia	Base teórica sólida	Optimización de tecnología madura



Battery thermal management AND vehicle	Redes especializadas	Alta densidad temática	Citación alta	Fuerte convergencia	Núcleos estables	Área técnica consolidada
Battery safety AND thermal runaway	Redes concentradas	Alta densidad crítica	Alta citación	Fuerte convergencia	Núcleo robusto	Área estratégica de seguridad
Battery cost AND electric vehicles	Redes interdisciplinarias	Densidad moderada	Citación media	Convergencia parcial	Marco mixto	Enfoque económico-tecnológico
Battery recycling AND lithium-ion	Redes en crecimiento	Clústeres sostenibles	Citación creciente	Convergencia media	Marco en expansión	Tendencia en economía circular
Lithium-sulfur battery AND applications	Redes exploratorias	Baja densidad	Citación baja-media	Convergencia débil	Estructura incipiente	Tecnología emergente
Aluminum-air battery AND mobility	Colaboración baja	Escasa co-ocurrencia	Pocos referentes	Alta fragmentación	Débil estructura	Tecnología exploratoria
Fast charging AND Li-ion battery	Redes activas	Alta densidad temática	Citación creciente	Alta convergencia	Núcleos en consolidación	Línea prioritaria de investigación
Energy storage AND battery degradation	Redes interdisciplinarias	Densidad moderada	Citación media	Convergencia parcial	Marco consistente	Área transversal en expansión



Commercial battery AND vehicle	Redes amplias	Enfoque generalista	Citación media	Diversidad temática	Marco amplio	Visión integradora del campo
Electric vehicle battery AND technical characteristics	Redes multidisciplinarias	Alta diversidad temática	Citación relevante	Convergencia parcial	Núcleo transversal	Síntesis técnica del sector

4.1.2.2. Tendencias de baterías identificadas

La siguiente tabla muestra un resumen para seguir tendencias de investigación y tecnologías de baterías comerciales basadas en patrones visuales en los mapas de VOSviewer. En este caso, los resultados se resumen por tecnología de batería o enfoque técnico, para ofrecer un vínculo entre la evidencia bibliométrica y el estado del arte científico y la previsión futura para cada tecnología.

Esta tabla tiene un rol estratégico dentro del capítulo, ya que con ella es posible enlazar el análisis visual con el objetivo específico 3, resaltando aquellas tecnologías en las que se encuentra una mayor madurez científica y las que surgen como alternativas prometedoras para el desarrollo futuro de los vehículos eléctricos.

Tabla 14: Tendencias de baterías identificadas

Tipo de batería / enfoque	Evidencia bibliométrica	Estado científico	Tendencia identificada
Baterías Li-ion	Clústeres densos, alta citación	Consolidado	Optimización incremental
LiFePO ₄	Redes estables	Consolidado	Seguridad y eficiencia
Estado sólido	Redes dispersas	Emergente	Comercialización futura
Sodio-ion	Baja densidad	Emergente	Alternativa al litio



Litio-azufre	Clústeres pequeños	Exploratorio	Alta densidad futura
Metal-aire	Fragmentación alta	Exploratorio	Investigación básica
Reciclaje de baterías	Crecimiento reciente	En expansión	Economía circular
Carga rápida	Alta co-ocurrencia	En desarrollo	Prioridad industrial

El análisis bibliométrico realizado en la base de datos Scopus, a través de la aplicación complementaria de Microsoft Excel y el software VOSviewer, reveló un conocimiento amplio sobre el rendimiento, el marco y la tendencia de investigación científica relacionada con los tipos de baterías comerciales para vehículos eléctricos. A través del análisis cuantitativo con Excel, se revelaron tendencias temporales de publicación, grado de madurez tecnológica diferenciada, sectores temáticos más relevantes, dirección geográfica del liderazgo científico y principales características técnicas tecnológicas de las tecnologías analizadas.

Por otro lado, el análisis visual aumentado mediante VOSviewer permitió profundizar en la interpretación de estos resultados, mostrando las relaciones estructurales entre autores, términos y documentos científicos. Los mapas de coautoría, coocurrencia, citaciones, acoplamiento bibliográfico y cocitación mostraron diversos niveles de consolidación científica al interior del campo, incluyendo al menos una tecnología madura, líneas de investigación en consolidación y tecnologías emergentes exploratorias.

En particular, los resultados de búsqueda encontrados en Scopus indican que las baterías basadas en ion-litio prevalecen aún en mayor número, entre las diferentes tecnologías aplicadas, mientras que las baterías de estado sólido, sodio-ion, litio-azufre y metal-aire se presentan como alternativas que posiblemente se desarrollarán en un futuro cercano. Además, se señalan tendencias a nivel transversal focalizadas en incrementar la seguridad, eficiencia, gestión térmica, reducción de costos, sostenibilidad a través del reciclado de baterías, etc.

Por lo tanto, la combinación del análisis cuantitativo y visual en Scopus ofrece un fuerte cumplimiento del objetivo específico 3, al enfocarse en detectar tendencias de investigación y tecnologías emergentes en el ámbito de las baterías comerciales para vehículos de transporte eléctrico, sirviendo además como línea base de comparación que se verá completada con el análisis de las otras fuentes de datos que se incluyen en el estudio.



4.2. Análisis de comandos bibliométricos en Web of Science

Complementando el análisis realizado anteriormente en la base de datos Scopus, ahora se revisarán los resultados de la plataforma Web of Science (WoS). Esta base de datos es conocida internacionalmente por su rigor en la selección de publicaciones científicas y por la calidad de sus indicadores bibliométricos. Permite comparar y confirmar las tendencias observadas antes, ofreciendo una visión más completa y clara del panorama de investigación sobre las baterías comerciales usadas en vehículos eléctricos.

4.2.1. Análisis en Microsoft Excel

Para hacerlo, los datos se exportaron desde la herramienta de Web of Science en un formato compatible con Excel, un archivo exportable .CSV. Con esto, se crearon gráficos comparativos que ayudan a entender los indicadores clave, como el número de publicaciones por año, país, autor, institución, financiadores y área temática.

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos con los comandos usados en esta base de datos y una interpretación de cada gráfico generado. Se destacan las principales tendencias, relaciones y patrones que se notaron en el avance de la investigación sobre baterías comerciales para vehículos eléctricos:

1. Li-ion battery AND energy density

1.1. Publicaciones por año



Ilustración 265: Documentos por año

El perfil temporal de la ilustración anterior muestra un crecimiento constante desde 2005, con aceleración alrededor de 2014–2015 y pico desde 2016 a 2024. La pendiente refleja dos motivos principales:

- Mejoras en materiales de cátodo y ánodo que aumentan la densidad energética sin poner en riesgo la seguridad



- Expansión del mercado de vehículos eléctricos, que conecta la investigación con la producción.

La estabilidad en los últimos años indica madurez en el tema y consolidación en áreas como arquitectura de celdas y empaquetado (cell-to-pack), que maximizan los Wh/kg en el paquete completo, no solo en la celda. El aumento en 2020–2024 también refleja la atención al estado sólido como futuro.

1.2.Documentos por tipo

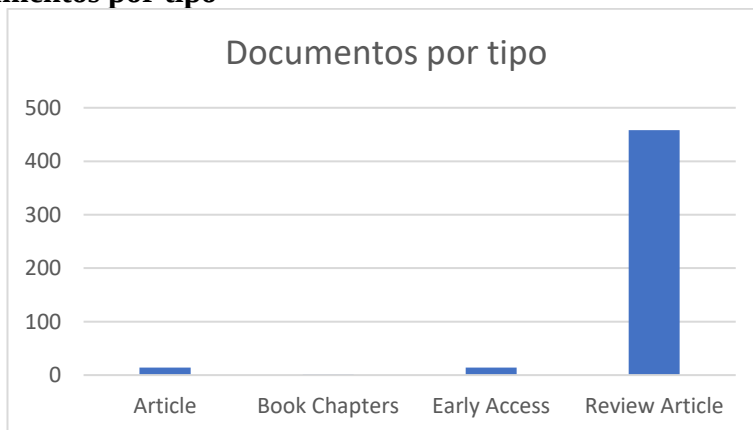


Ilustración 266: Documentos por tipo

En la ilustración mostrada antes, los documentos por tipo son principalmente artículos originales, lo que indica un campo muy experimental. El aumento de reviews en las últimas publicaciones sugiere resumen del estado actual y un nivel de madurez. Esto es útil para definir límites de rendimiento energético según la química (LCO/NMC/NCA/LFP) y por arquitectura térmica en automoción.

1.3.Documentos por autor

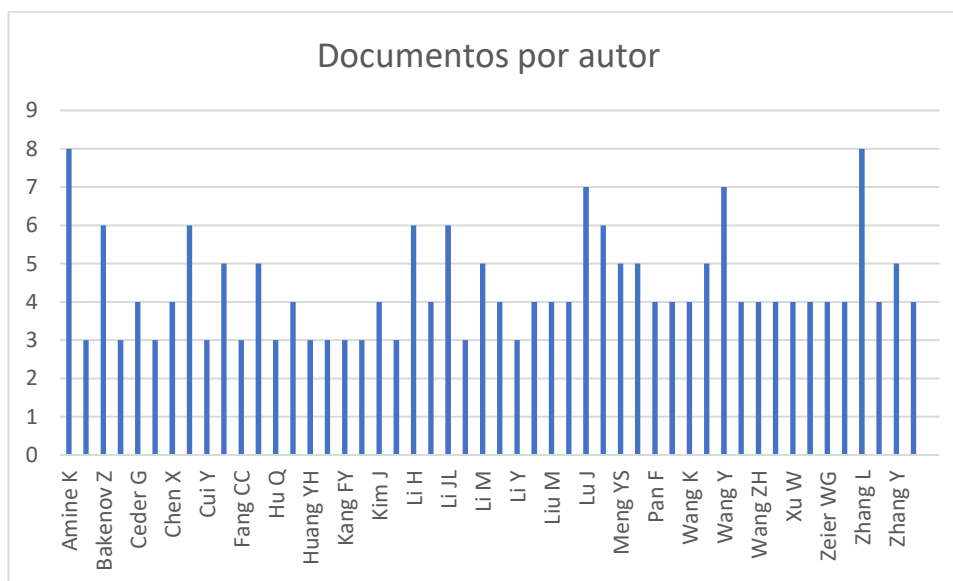


Ilustración 267: Documentos por autor

En esta ilustración se observa la concentración de autorías en referentes de materiales y electroquímica y, también, la entrada de equipos asiáticos de alto volumen (China, Corea, Japón), acorde con el liderazgo industrial en celdas y cadena de suministro. La coexistencia de grupos históricos con nuevos consorcios que están lanzados a la cúspide explica la amplitud de citación cruzada.

1.4. Documentos por categoría de WoS



Documentos por categoría WoS



- Automation Control Systems
- Biochemistry Molecular Biology
- Chemistry Analytical
- Chemistry Applied
- Chemistry Inorganic Nuclear
- Chemistry Multidisciplinary
- Chemistry Physical
- Computer Science Artificial Intelligence
- Computer Science Information Systems
- Computer Science Interdisciplinary Applications
- Computer Science Theory Methods
- Crystallography

Ilustración 268: Documentos por categoría de WoS

En esta ilustración de la categorización de web of science se puede ver que predominan materials science, energy & fuels, electrochemistry y engineering, electrical & electronic. Esto muestra la relación entre propiedad del material-compatibilidad con vehículos: mejorar el valor de wh/kg (capacidad energética de la batería), requiere optimización de materiales y gestión de límites de seguridad.

1.5.Documentos por afiliación institucional

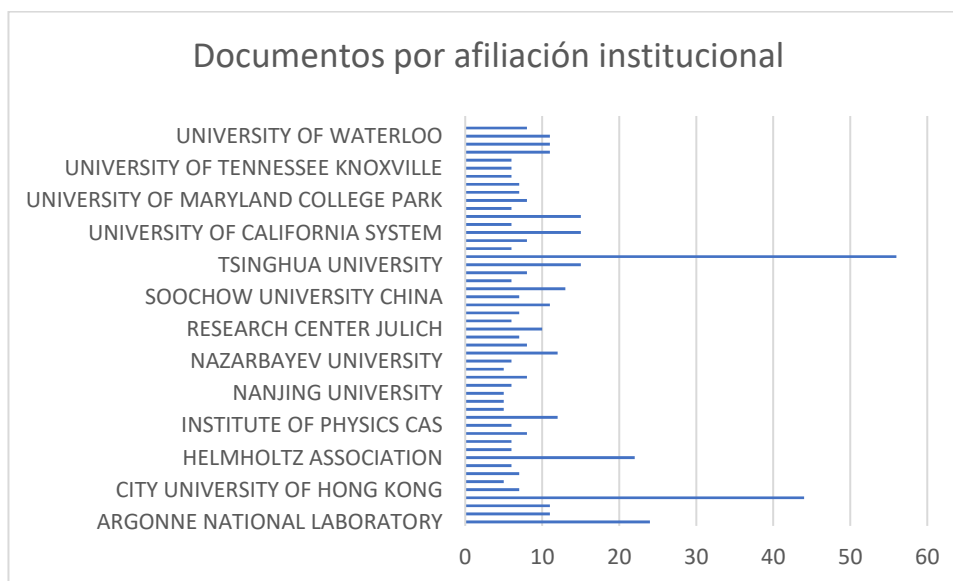


Ilustración 269: Documentos por afiliación institucional

En este apartado de la documentación por afiliación institucional destaca el bloque universitario académico asiático juntamente con polos de Estados Unidos y Europa, esta geografía institucional robustece colaboraciones y colaboraciones a industrias.

1.6. Documentos por país o territorio

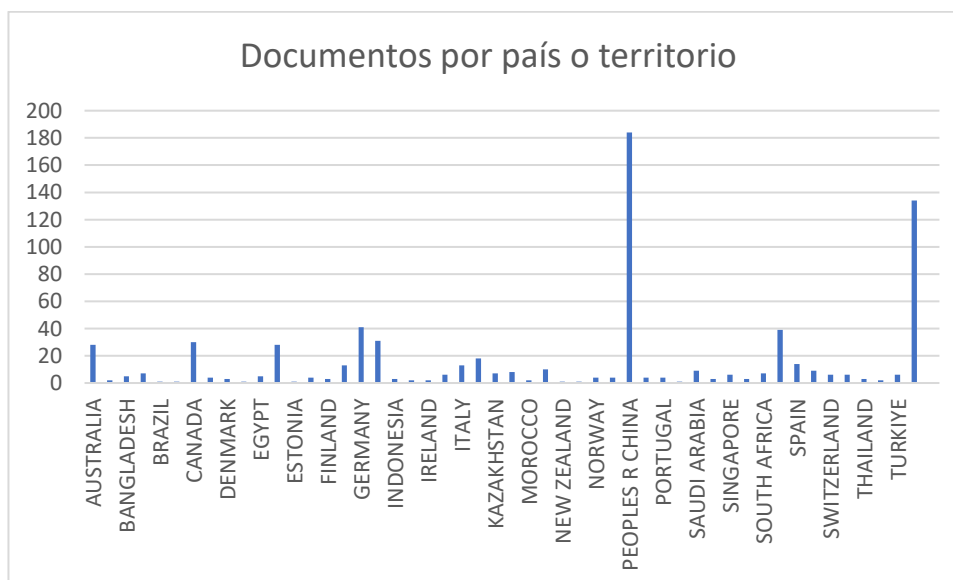


Ilustración 270: Documentos por país o territorio

En esta ilustración se observa que China lidera notablemente, seguida por Estados Unidos, Alemania, Corea y Japón. Con esto se puede decir que Europa aporta



tracción en sostenibilidad y reciclaje, por tanto, América Latina aún empieza a aportar información referente a los tipos de baterías comerciales para vehículos eléctricos.

1.7.Documentos por área temática

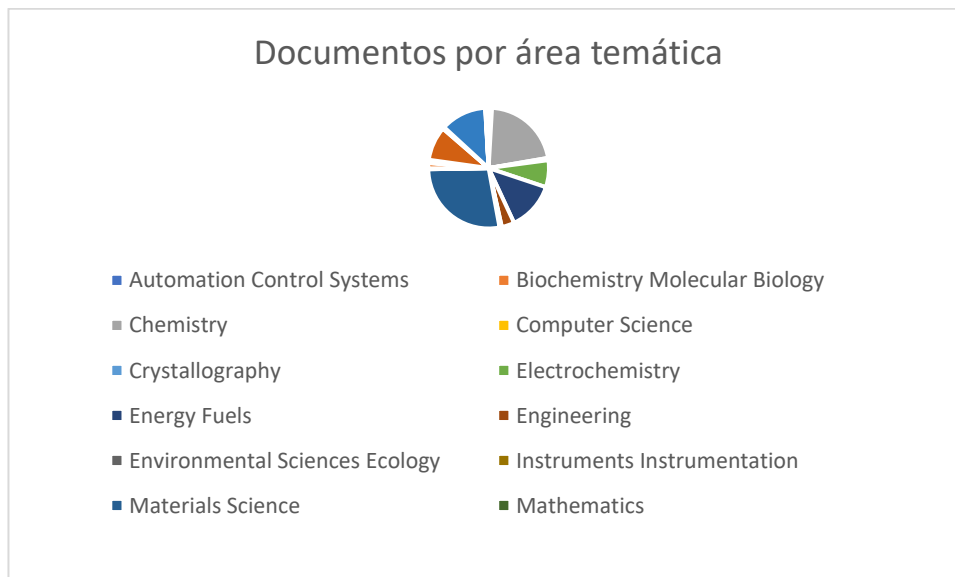


Ilustración 271: Documentos por área temática

En la ilustración anterior se observa una gran multidisciplinariedad marcada: desde la química en estado sólido y nanomateriales hasta ingeniería térmica y modelos de degradación, lideran principalmente Materials Science, seguido por Chemistry y Energy Fuels.

1.8.Documentos por agencias patrocinadoras

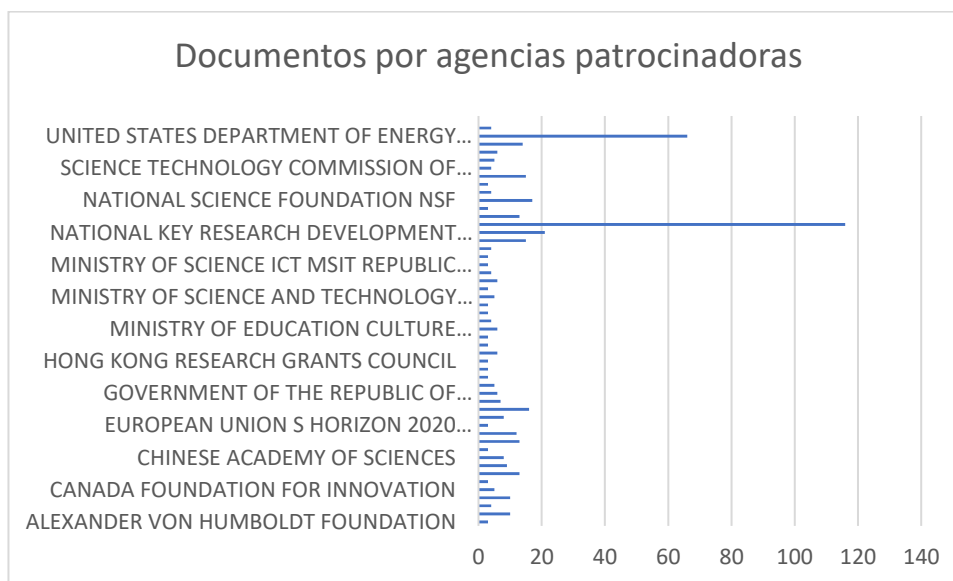


Ilustración 272: Documentos por agencias patrocinadoras

En la ilustración se muestra que principalmente sobresalen NSFC (China), DOE (EE. UU.) y programas europeos (H2020/HE), densidad energética en Li-ion es un tema estratégico para transición energética e independencia tecnológica.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

2.1.Publicaciones por año



Ilustración 273: Publicaciones por año



Esta ilustración muestra como asciende la curva con inflexión entre 2016-2018, por la urgencia de pronóstico de vida útil en la degradación de baterías comerciales para vehículos eléctricos, los picos recientes entre 2022-2024 reflejan un auge en carga rápida y alta energía r volumen que aplican fenómenos de gasificación y fade asimétrico.

2.2.Documentos por tipo

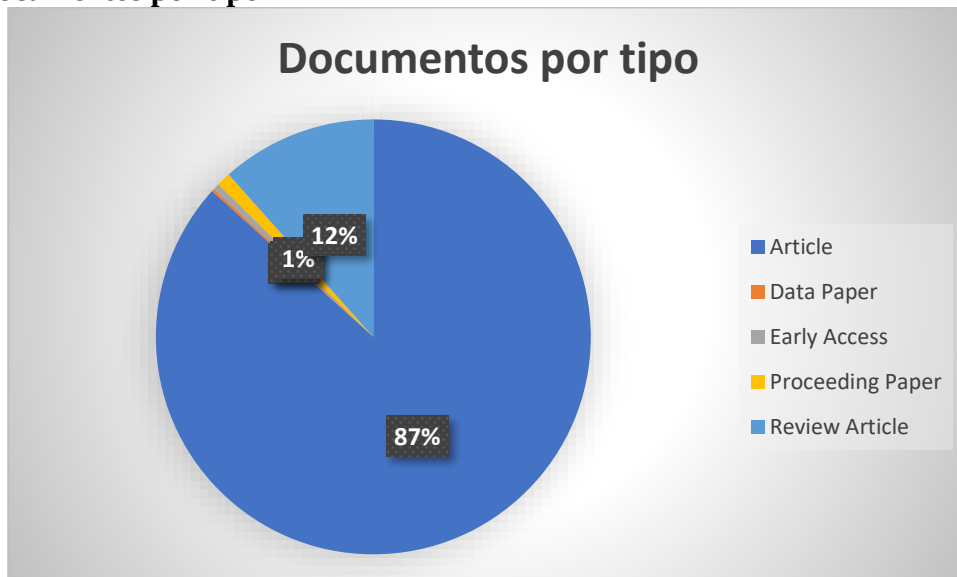


Ilustración 274:Publicaciones por tipo

En esta ilustración se muestra un fuerte peso de artículos experimentales y reviews de estos mecanismos, seguidamente por papers y artículos de acceso libre.

2.3.Documentos por autor

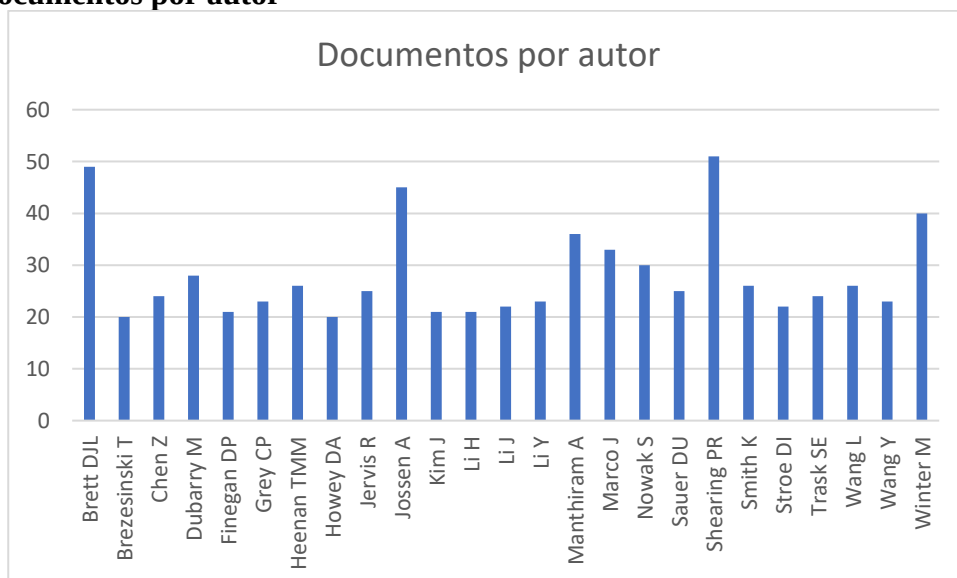


Ilustración 275:Documentos por autor



Los autores más destacados se concentran en grupos de diagnóstico y modelado de degradación, calendario anual y ánodo cátodo. Entre los autores más destacados están: Shearing, Brett, Jossen y Winter.

2.4. Documentos por categoría de WoS

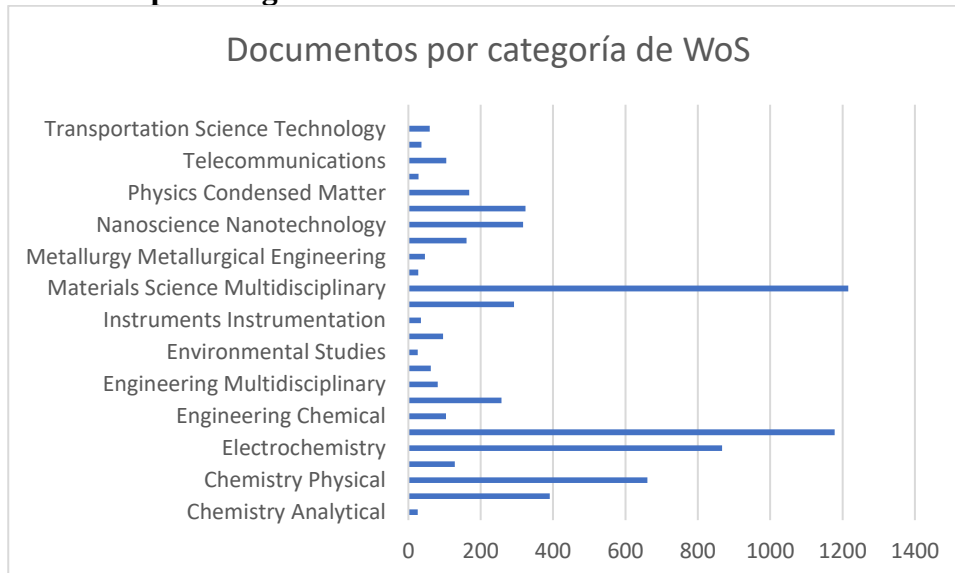


Ilustración 276: Documentos por categoría de WoS

En la ilustración Materials Science Multidisciplinary, Energy Fuels dominan reflejando el cruce de mecanismo fisicoquímico, Electrochemistry aparecen posteriormente aptando a esta categorización de WoS.

2.5. Documentos por afiliación institucional

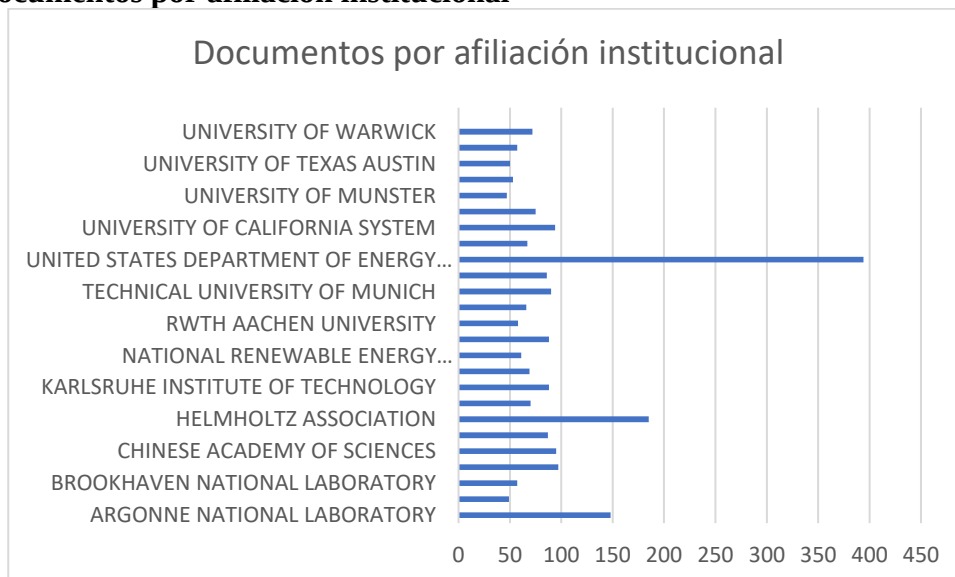


Ilustración 277: Documentos por afiliación institucional

Se puede observar que algunas instituciones asiáticas y norteamericanas con bancos de pruebas de celdas pack/módulo dominan la categorización, seguidos por corporación como laboratorios nacionales.



2.6.Documentos por país o territorio



Ilustración 278: Documentos por país o territorio

Esta ilustración muestra que China y Estados Unidos dominan claramente la producción seguidos por Alemania, Corea y Japón, Europa Occidental agrega información acerca de los ciclos de vida de las baterías.

2.7.Documentos por área temática

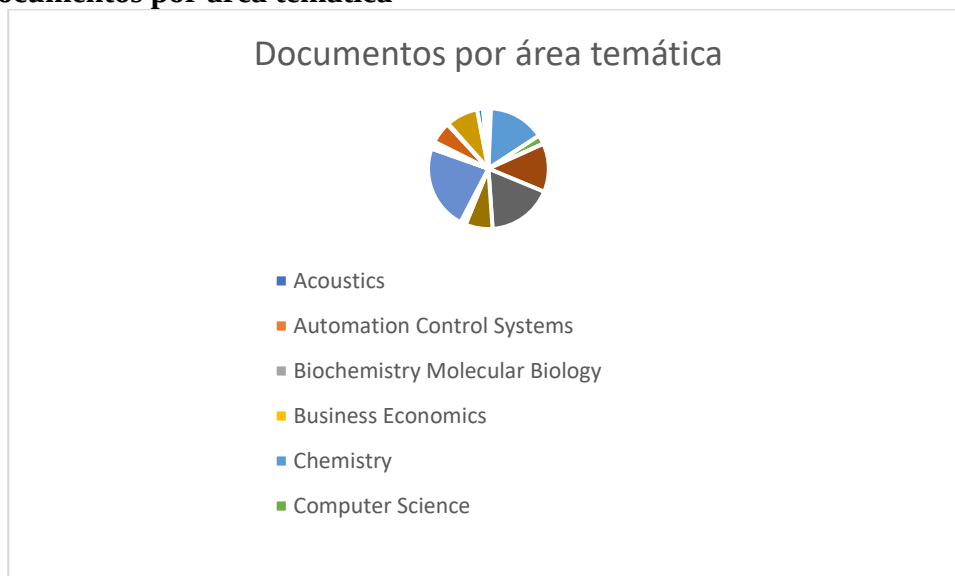


Ilustración 279: Documentos por área temática

Esta imagen muestra las diferentes áreas temáticas que aportan al ciclo de vida de las baterías comerciales, entre estas destacan Materials Science y Energy Fuels, seguidos por Chemistry y Electro Chemistry.

2.8.Documentos por agencias patrocinadoras

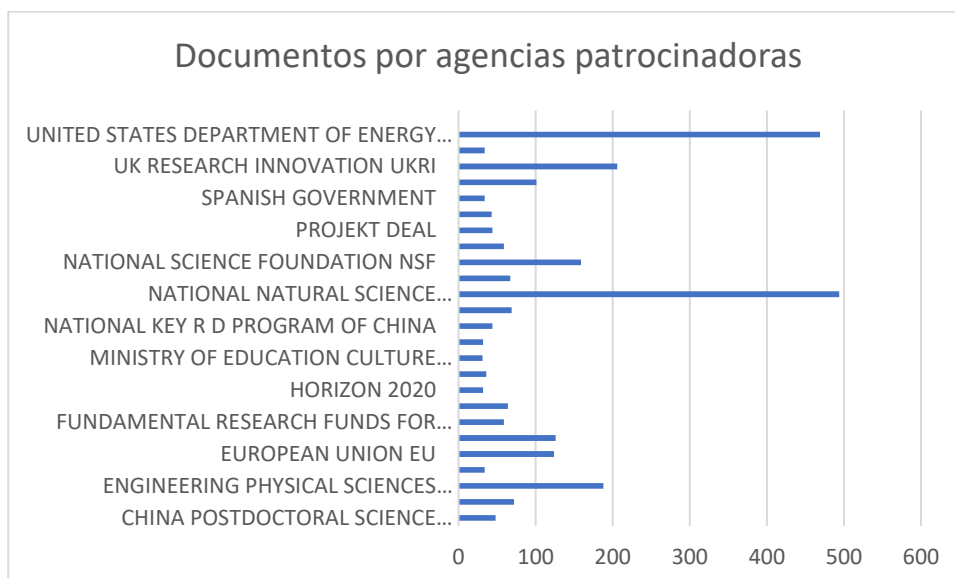


Ilustración 280: Documentos por agencias patrocinadoras

La ilustración muestra a programas nacionales orientados a la durabilidad y seguridad de las baterías de EV. Las agencias y fondos asiáticos también priorizan la vida útil de los EV.

3. Li-ion battery AND safety

3.1.Publicaciones por año



Ilustración 281: Publicaciones por año

La ilustración muestra un crecimiento acelerado desde 2017, con picos tras incidentes en movilidad y almacenamiento hasta 2024, lo que demuestra que el estudio es actualizado, por eso es por lo que en años anteriores no se muestran picos.



3.2.Documentos por tipo

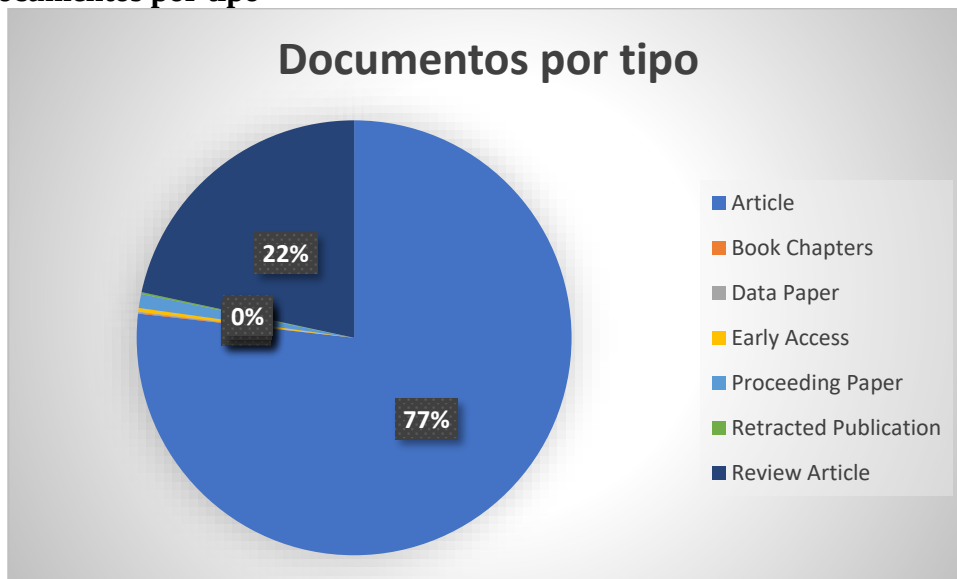


Ilustración 282: Documentos por tipo

La imagen muestra que en este comando siguen prevaleciendo los artículos experimentales, seguidos por los reviews los cuales sistematizan umbrales y fallos en los EV.

3.3.Documentos por autor

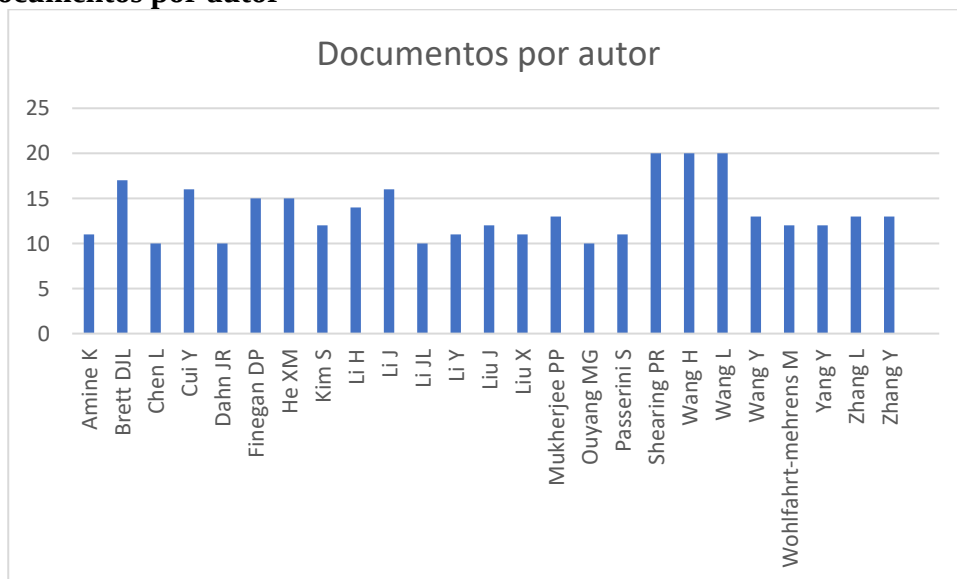


Ilustración 283: Documentos por autor

Existe varios autores con experticia en gestión térmica, electrolitos menos volátiles y aditivos ignífugos. También existe colaboración de varios autores con fabricantes para elaborar celdas a escala pack.

3.4.Documentos por categoría de WoS

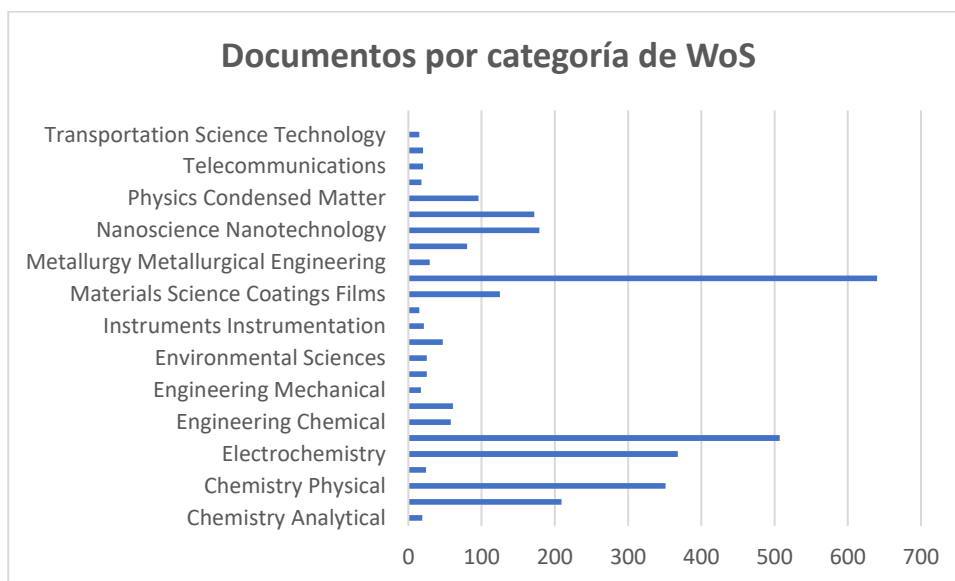


Ilustración 284: Documentos por categoría de WoS

En esta ilustración se puede observar un cruce entre Electrochemistry, Thermodynamics, Transfer y Safety Engineering, reflejando así que la seguridad nace de materiales, arquitectura y control.

3.5. Documentos por afiliación institucional

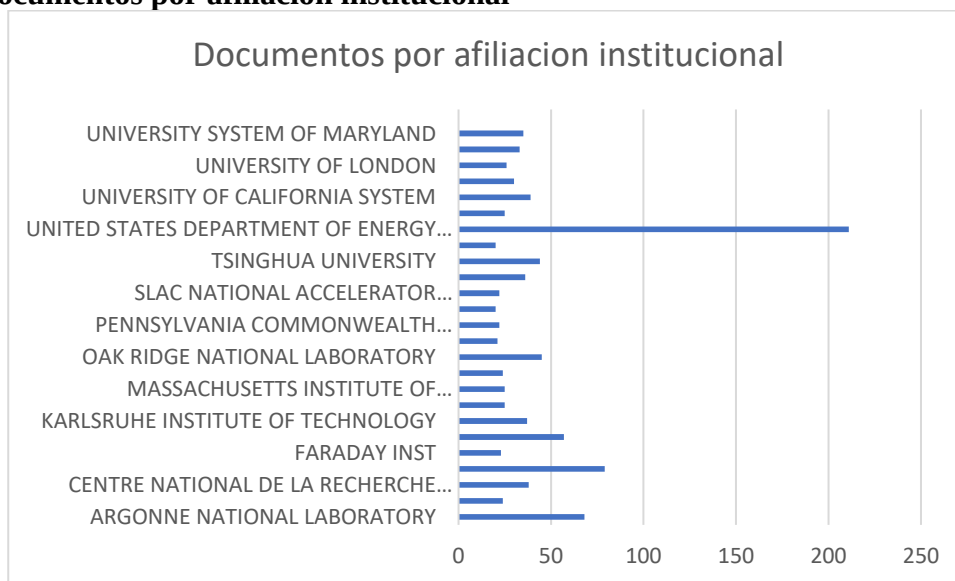


Ilustración 285: Documentos por afiliación institucional

La imagen muestra que el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) tienen un abuso y uso térmico y centros de certificación vehicular lo que explica la elevada producción de esta institución.

3.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 286: Documentos por país o territorio

En la imagen se puede observar un claro liderazgo de China y Estados Unidos, seguidos por Alemania, Inglaterra y Corea. Son los países que más aportan a la seguridad de las baterías.

3.7. Documentos por área temática

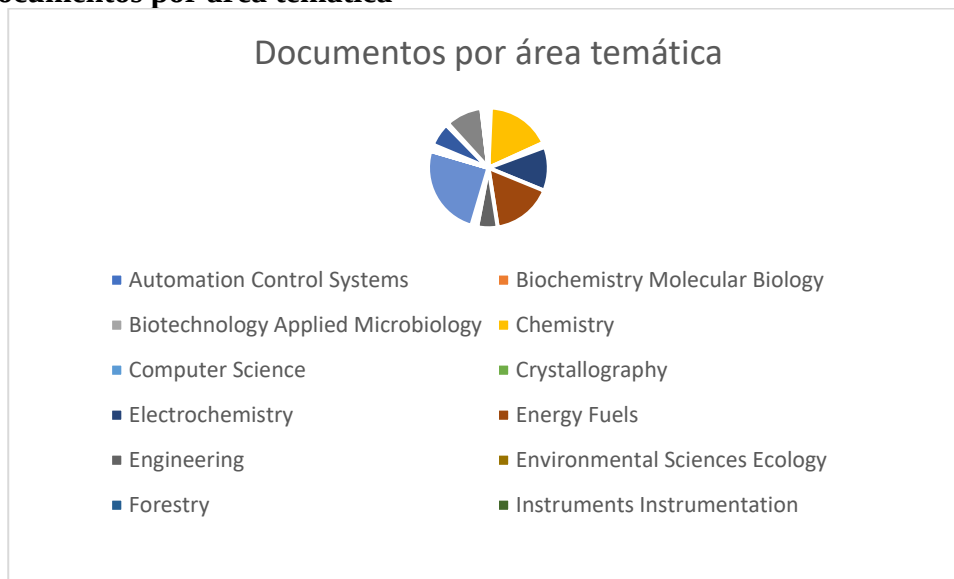


Ilustración 287: Documentos por área temática

La ilustración muestra que hay un gran peso de Materials Science, Chemistry y Energy Fuels, tendencia a solid state por una venana abierta de seguridad.

3.8. Documentos por agencias patrocinadoras

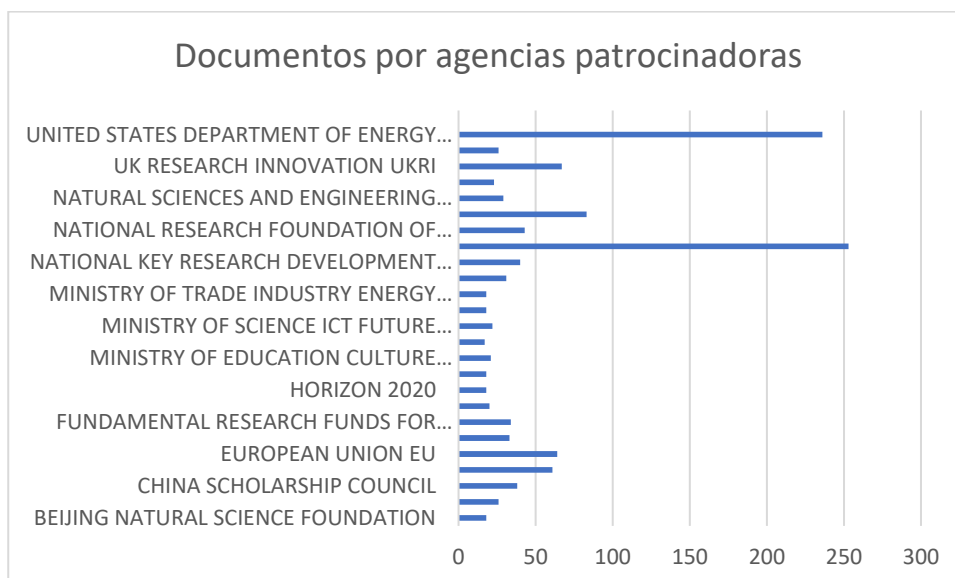


Ilustración 288: Documentos por agencias patrocinadoras

La imagen muestra las agencias que priorizan los estándares, los proyectos de detección temprana de gases, trazadores y el aislamiento térmico entre celdas son el DOE (Departamento de Energía) y la Fundación Nacional de China.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

4.1. Publicaciones por año



Ilustración 289: Publicaciones por año

La imagen muestra varios picos ascendentes y descendentes notables durante los años 2010-2018, no fue solo hasta 2019 donde se empezó a ver una ascendencia en la curva, pero 2022-2024 nuevamente vuelve a descender, debido a un bajo uso de las baterías de Nickel metal Hidruro.



4.2.Documentos por tipo

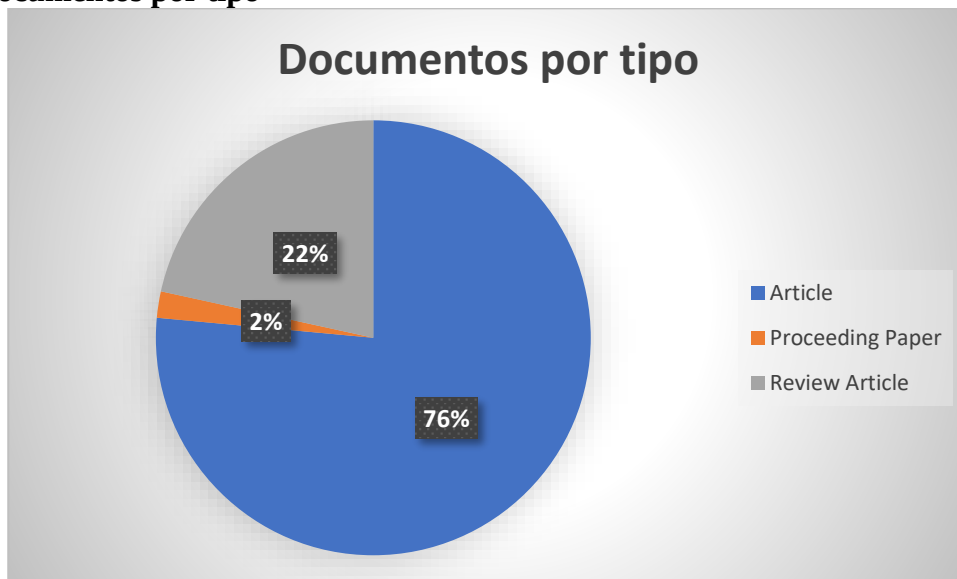


Ilustración 290: Documentos por tipo

En la ilustración se observa que los artículos lideran la investigación revistiendo la optimización de aleaciones y gestión de hidrogeno, seguidamente por reviews históricos para contextualizar su rol actual.

4.3.Documentos por autor

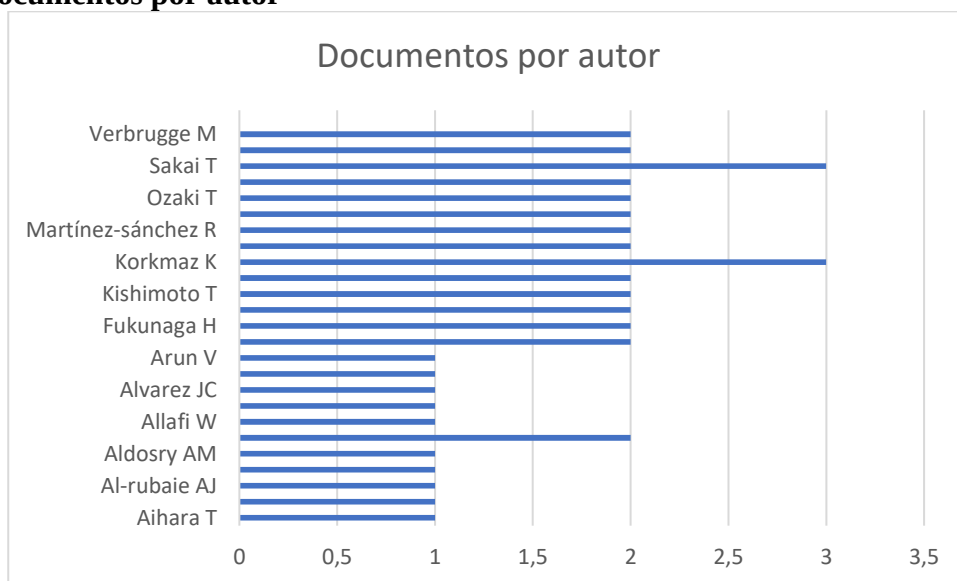


Ilustración 291: Documentos por autor

En la imagen se puede observar que sobresalen autorías con foco en ciclos, temperatura y vialidad económica para plataformas de baterías existentes.

4.4.Documentos por categoría de WoS

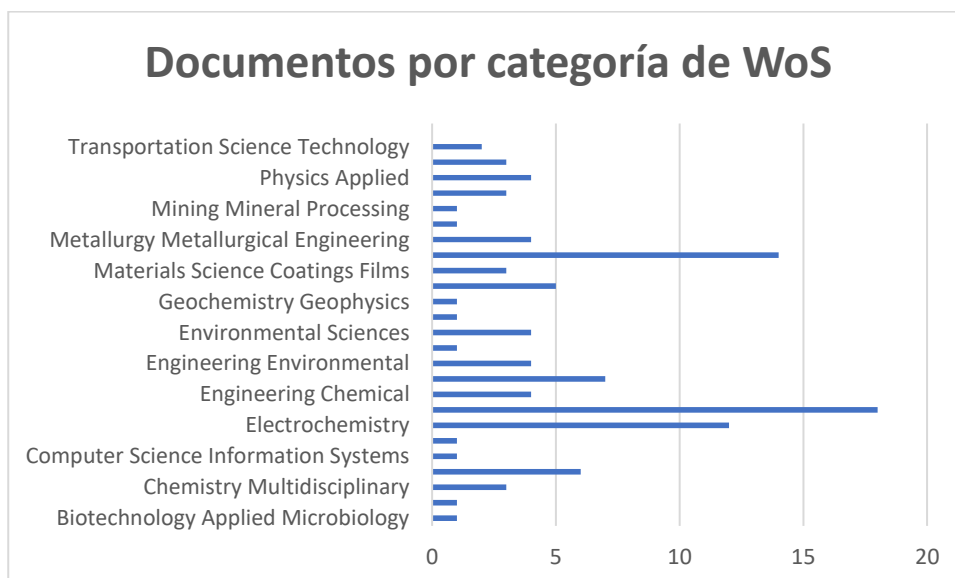


Ilustración 292: Documentos por categoría de WoS

La ilustración muestra que Electrochemistry y Materials Science se muestra con mayor presencia, interés técnico en durabilidad y reciclabilidad.

4.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 293: Documentos por afiliación institucional

La imagen muestra las instituciones con legado en NiMH que es la fundación de Ciencias China y colaboración con OEMs de la primera generación de HEV.

4.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 294: Documentos por país o territorio

En la ilustración Estados Unidos tiene un polo alto en su historial de HEV en niveles inferiores a Li-ion, seguidos por España, Japón, India Y Australia. Con menor influencia aparecen los países europeos como Francia, Italia, entre otros.

4.7. Documentos por área temática

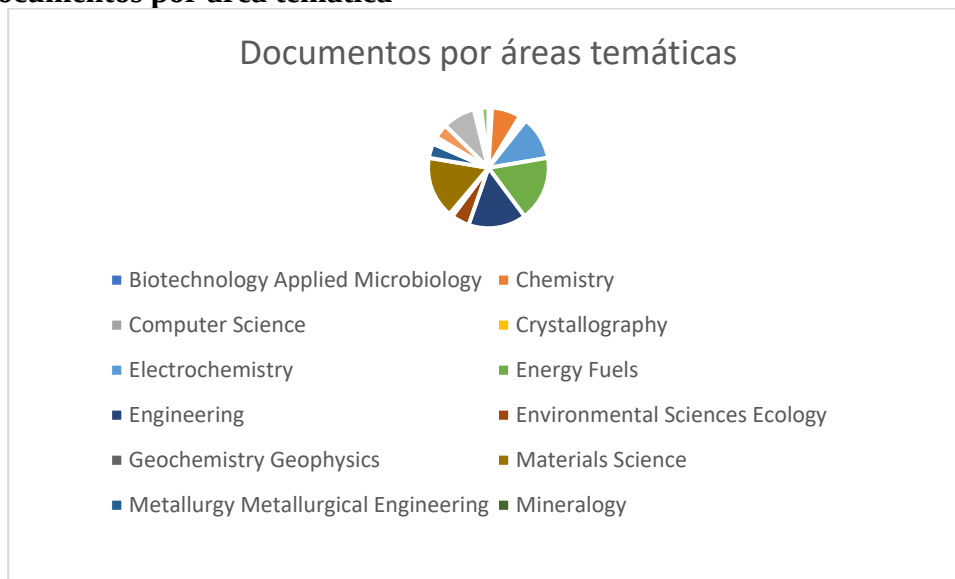


Ilustración 295: Documentos por área temática

Hay que hacer énfasis en los ciclos de vida, hidruros metálicos y termo mecánica de la celda, al referirnos todas las áreas temáticas en esta ilustración se muestran Energy Fuels, Engineering y Materials Science.

4.8. Documentos por agencias patrocinadoras

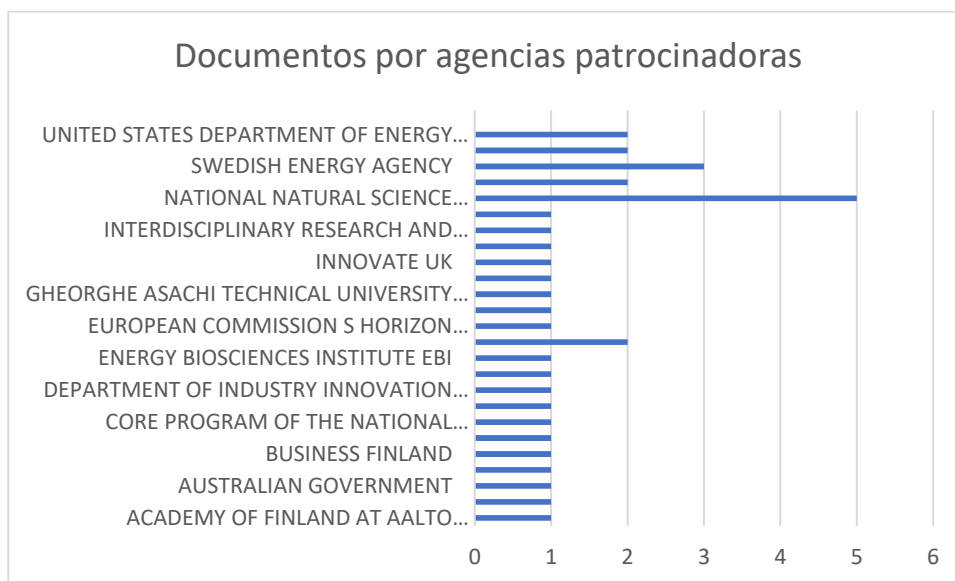


Ilustración 296: Documentos por agencias patrocinadoras

En la ilustración se puede identificar fondos de agencias asociados al reciclaje y mantenimiento de baterías, entre las que lideran notablemente están la NSFC (La Fundación Nacional de Ciencia China), Seguido por la agencia de energía.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

5.1.Publicaciones por año



Ilustración 297: Publicaciones por año

La ilustración anterior muestra un crecimiento ponderado, muy sólido desde 2020 paralelo al comando anterior de LFP

5.2.Documentos por tipo

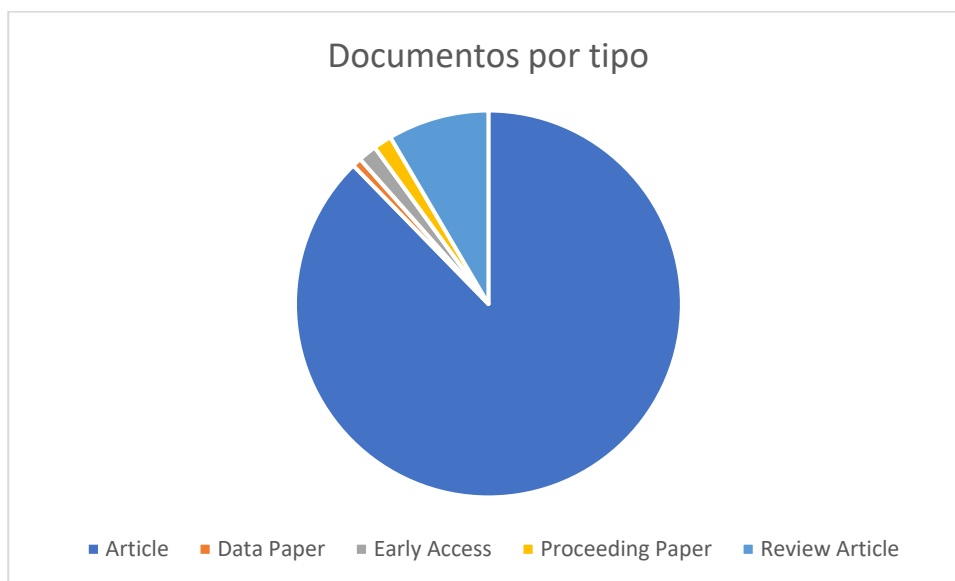


Ilustración 298: Documentos por tipo

La ilustración anterior muestra que los artículos son los que tienen mayor ponderación principalmente artículos centrados en optimización de conductividad y carga rápida segura. A continuación de los artículos le siguen reviews que comparan LFP vs NMC en coste/ciclo.

5.3. Documentos por autor

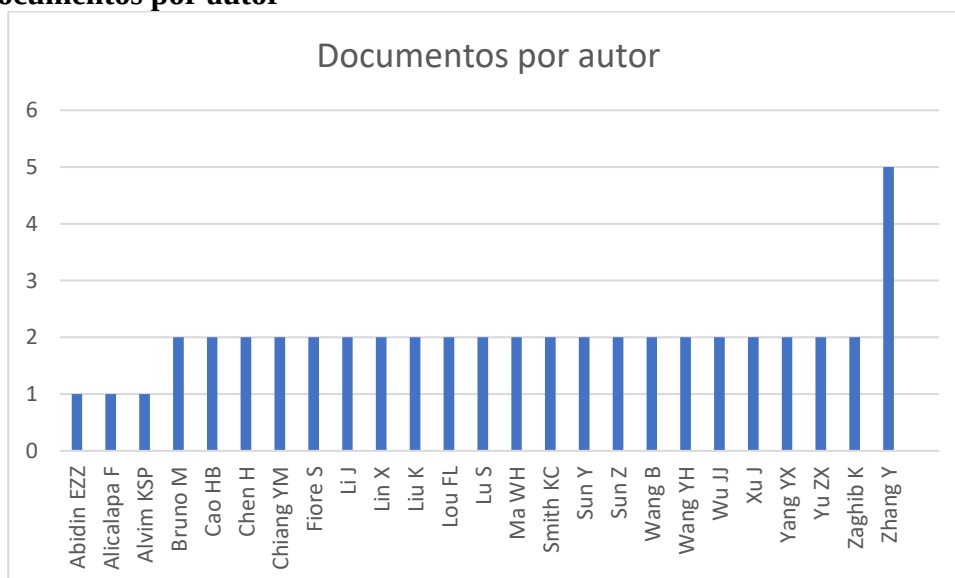


Ilustración 299: Documentos por autor

En la ilustración anterior se muestra los autores y grupos de materiales que investigan morfologías y varias rutas de síntesis.

5.4. Documentos por categoría de WoS

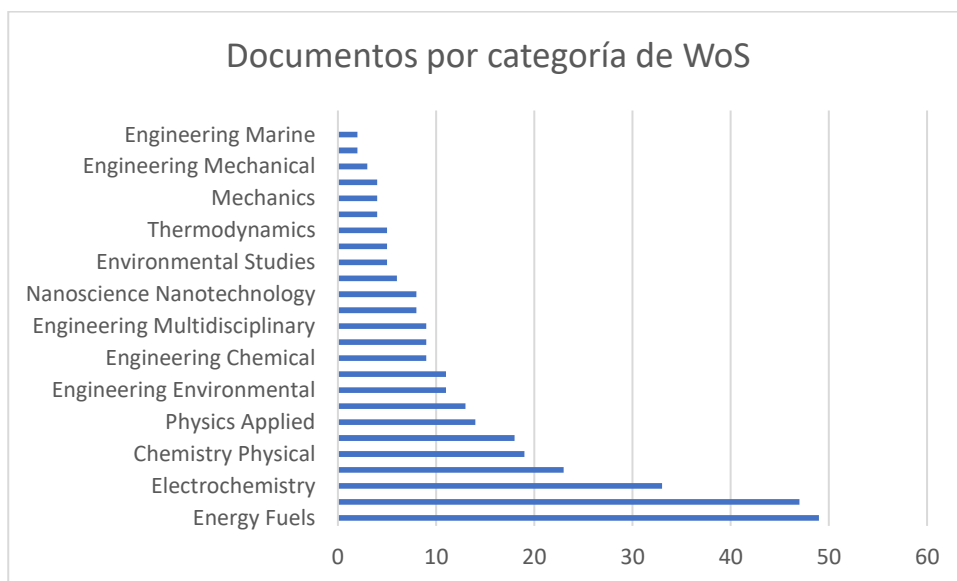


Ilustración 300: Documentos por categoría de WoS

La ilustración anterior muestra que las categorías Materials, Energy, Electrochemistry, tienen una pendiente creciente creciente y un cruce con la eficiencia vehicular por eficiencia de sistema (BMS/termia).

5.5. Documentos por afiliación institucional

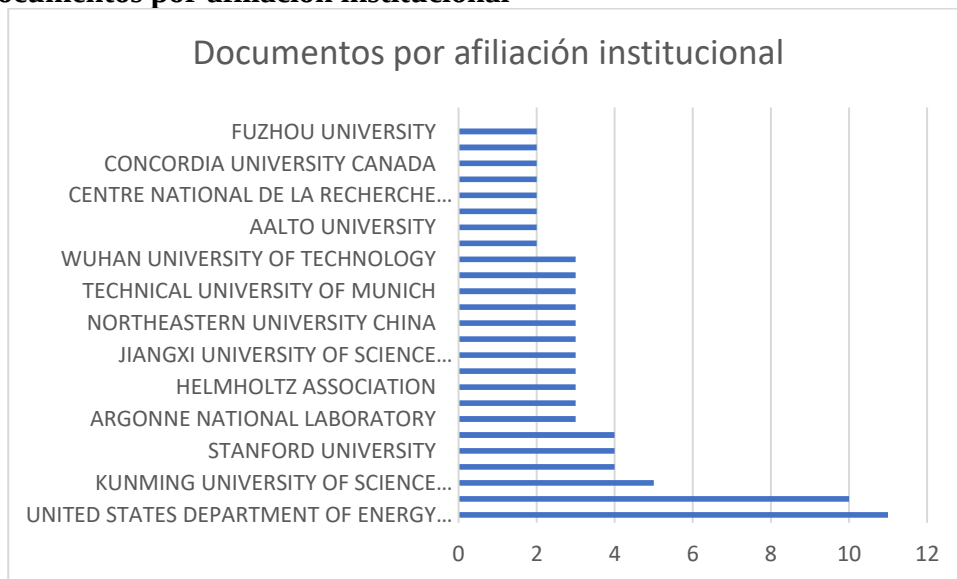


Ilustración 301: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra alta presencia de afiliaciones en Asia, EE. UU., con enlaces directos a líneas industriales LFP.

5.6. Documentos por país o territorio

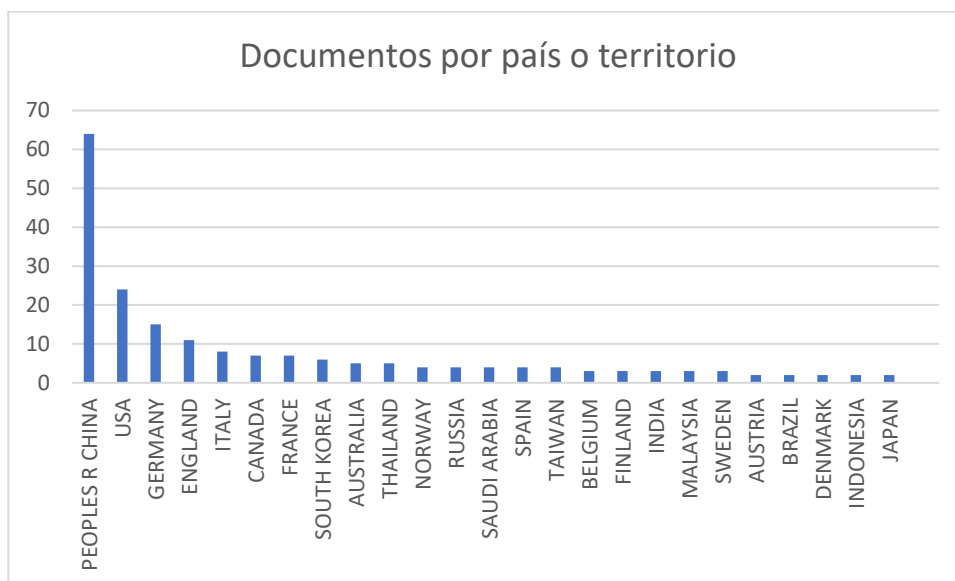


Ilustración 302: Documentos por país o territorio

En la ilustración anterior se nota claramente que China domina seguida por EE. UU./UE en comparativas de ciclo, seguridad y economía del pack.

5.7. Documentos por área temática

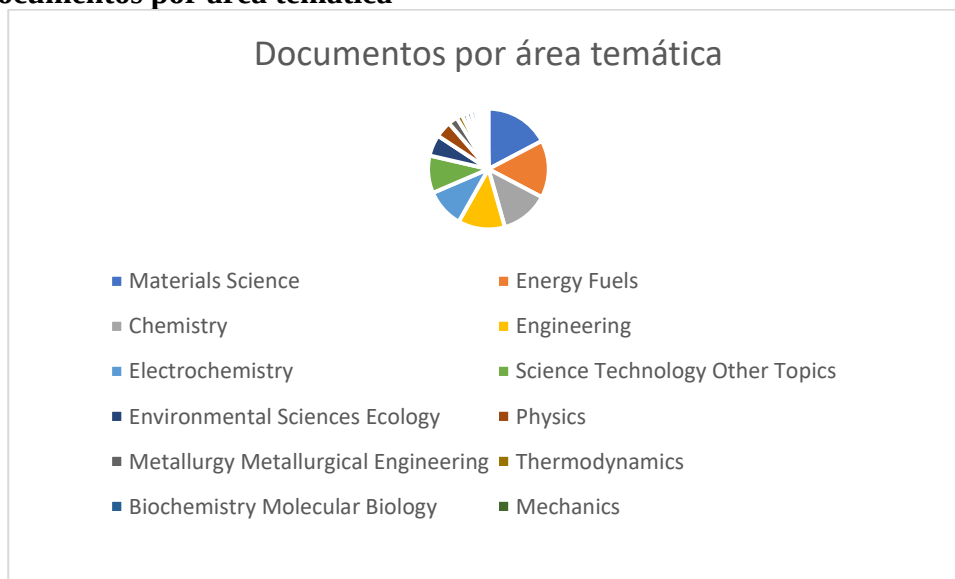


Ilustración 303: Documentos por área temática

La ilustración anterior muestra que existe un mayor peso del área Materials Science especialmente en la optimización de gestión térmica y estrategias de carga.

5.8. Documentos por agencias patrocinadoras

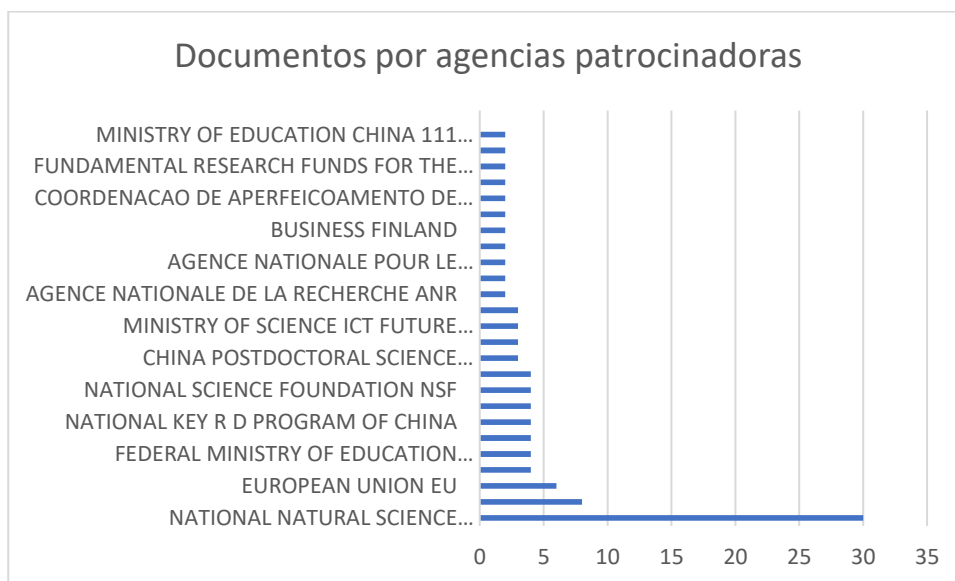


Ilustración 304: Documentos por agencias patrocinadoras

En la ilustración anterior se muestran las agencias patrocinadoras con mayor influencia y apoyo a EV asequibles y flotas en cuestión de seguridad, ciclo.

6. Solid-state battery AND commercialization

6.1.Publicaciones por año



Ilustración 305: Publicaciones por año

En la ilustración de las baterías de estado sólido y su comercialización se observa un crecimiento marcado a partir de 2018, el interés se centra en la brecha de seguridad y energía específica de ánodo Li-metal.

6.2.Documentos por tipo

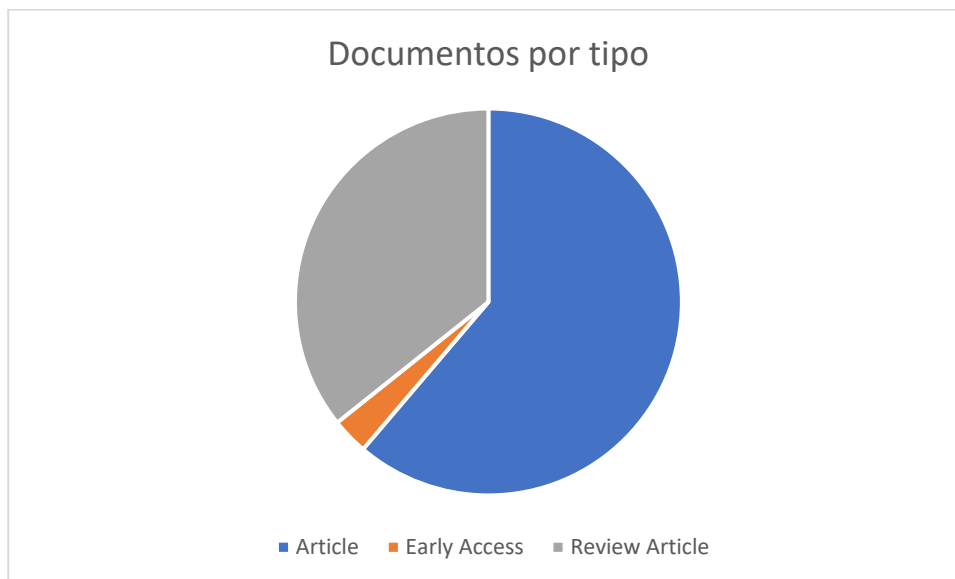


Ilustración 306: Documentos por tipo

La ilustración anterior muestra un alta ponderancia en los Artículos de electrólitos basados en conductividad y estabilidad también en la interfaz sólido-sólido a los artículos le siguen los reviews sobre manufactura compatibilidad catódica.

6.3. Documentos por autor

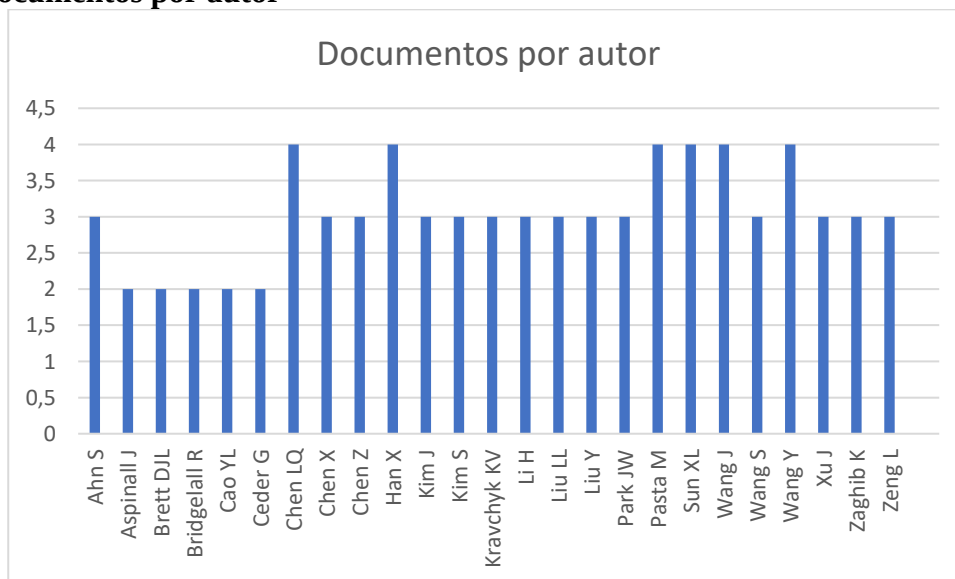


Ilustración 307: Documentos por autor

La ilustración muestra los núcleos académicos más centros corporativos, coautorías que reflejan la pre-comercialización de pilas prototipo.

6.4. Documentos por categoría de WoS

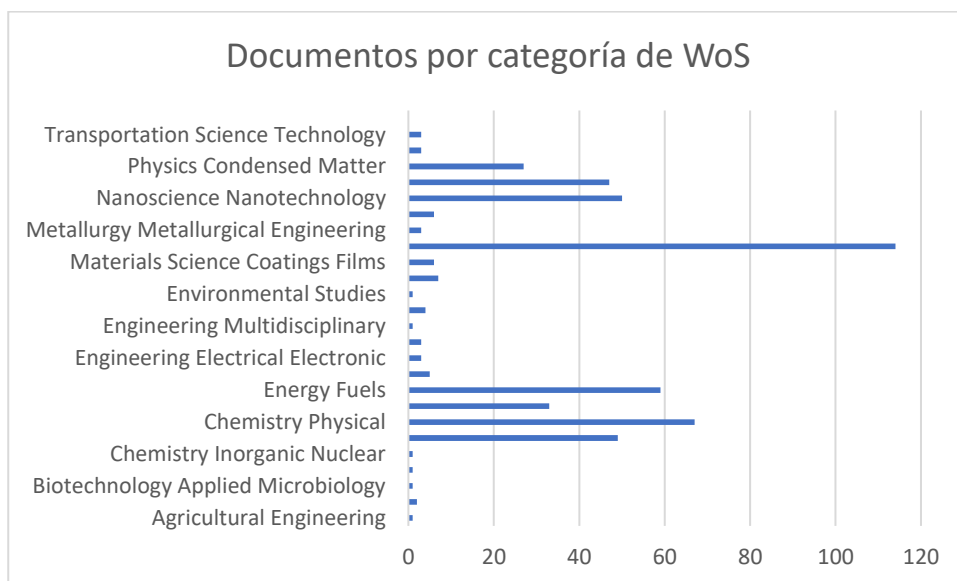


Ilustración 308: Documentos por categoría de WoS

Materials y Electrochemistry dominan en esta clasificación por categoría de Web of Science seguida a estos aumentan también manufactura y procesamiento por escalabilidad

6.5. Documentos por afiliación institucional

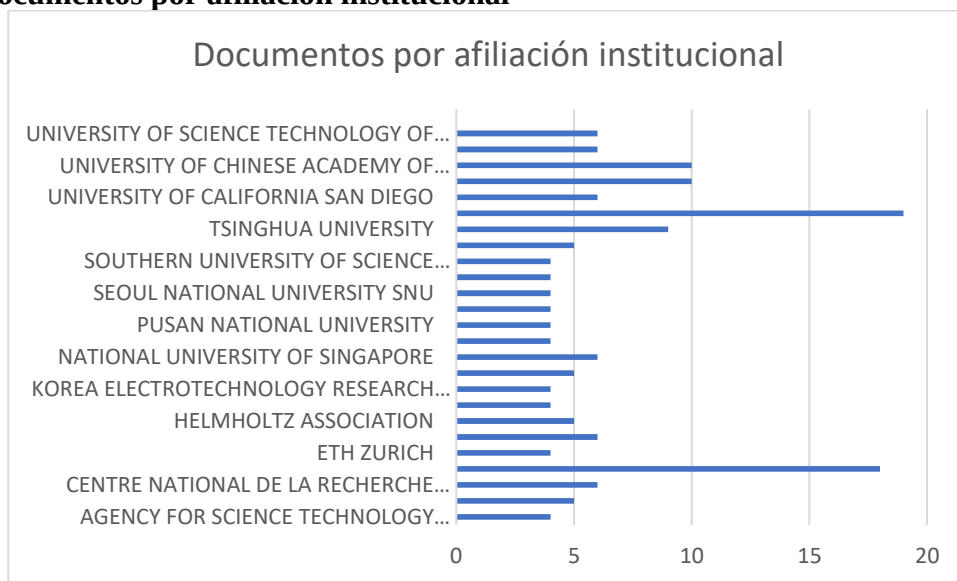


Ilustración 309: Documentos por afiliación institucional

La ilustración anterior muestra que las instituciones con afiliación que siempre están publicando artículos son las instituciones con plataformas de densificación y colaboración con start-ups de estado sólido.

6.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 310: Documentos por país o territorio

En la ilustración se observa que el bloque Asia-EE. UU.-UE, se ven con liderazgos específicos según la familia de electrolito.

6.7. Documentos por área temática

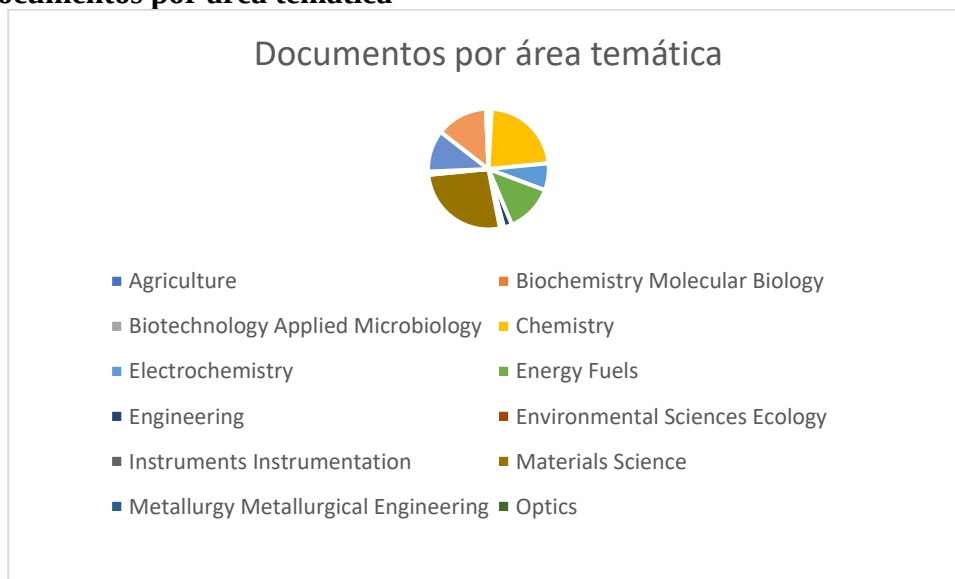


Ilustración 311: Documentos por área temática

La ilustración anterior muestra las áreas temáticas de investigación, siendo el área más dominante Materials Science con una interfase Li electrolito con resistencia, y estabilidad redox y compatibilización catódica.

6.8. Documentos por agencias patrocinadoras

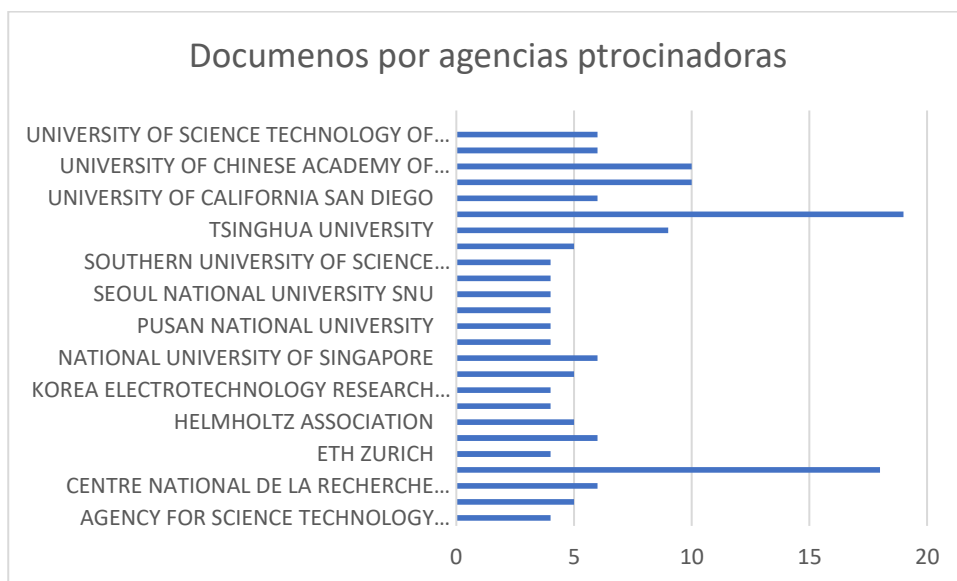


Ilustración 312: Documentos por agencias patrocinadoras

Los documentos por agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración anterior se observa la financiación estratégica a seguridad más densidad, se notó un foco en TRL y coste por kWh de rutas de fabricación.

7. Sodium-ion battery AND performance

7.1. Publicaciones por año



Ilustración 313: Publicaciones por año

El tema muestra un crecimiento sostenido desde aproximadamente el año 2016, con aceleración hasta el 2021 donde se experimenta una nueva pendiente creciente hasta el 2024 por madurez de cátodos y pilotos precomerciales se refleja tracción como complemento a Li-ion en ESS, EV de rango medio.

7.2. Documentos por tipo

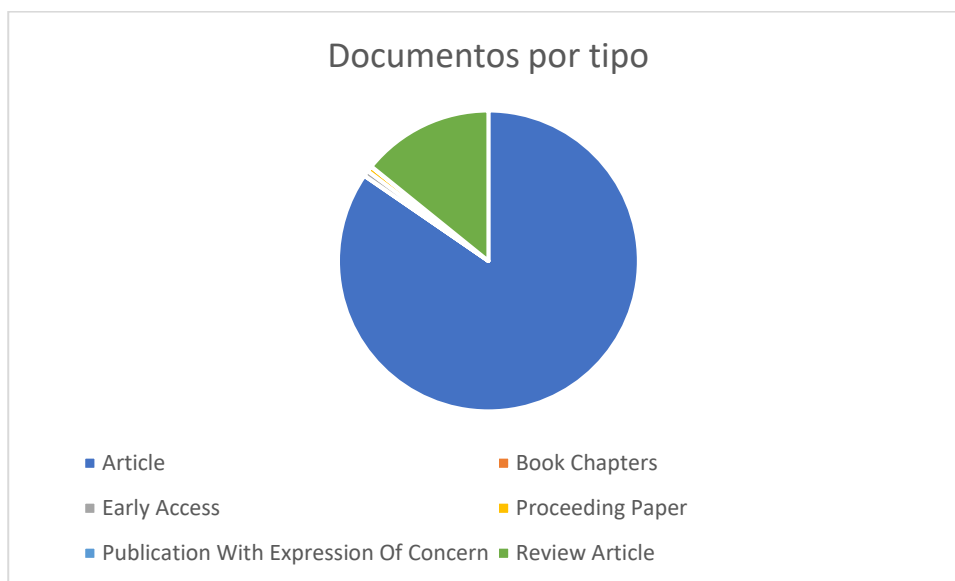


Ilustración 314: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en este tema predominan artículos experimentales, seguidos por las reviews recientes que sistematizan energía específica vs la vida útil y una ventana térmica.

7.3. Documentos por autor

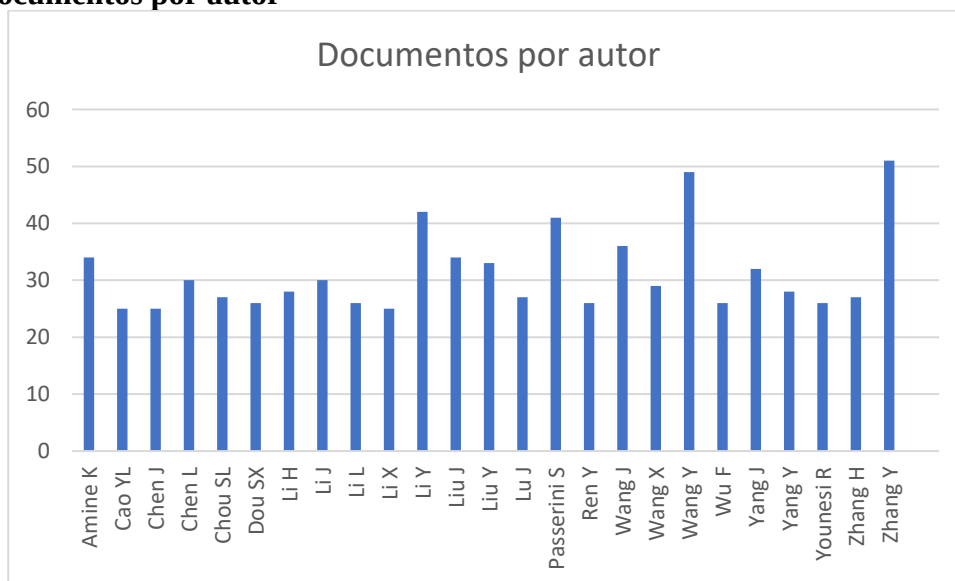


Ilustración 315: Documentos por autor

La ilustración muestra que los autores que más han publicado tienen núcleos en materiales, estructura en capas y electrolitos compatibles con sodio.

7.4. Documentos por categoría de WoS

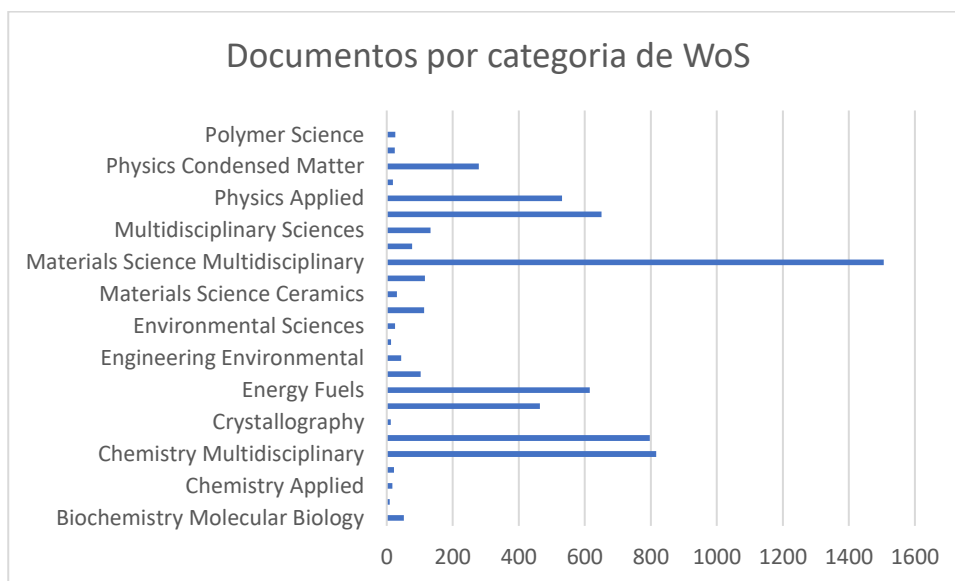


Ilustración 316: Documentos por categoría de WoS

La ilustración muestra que las categorías: Materials, Energy y Electrochemistry son las que más sobresalen con publicaciones de la ciencia verde y sostenible.

7.5. Documentos por afiliación institucional

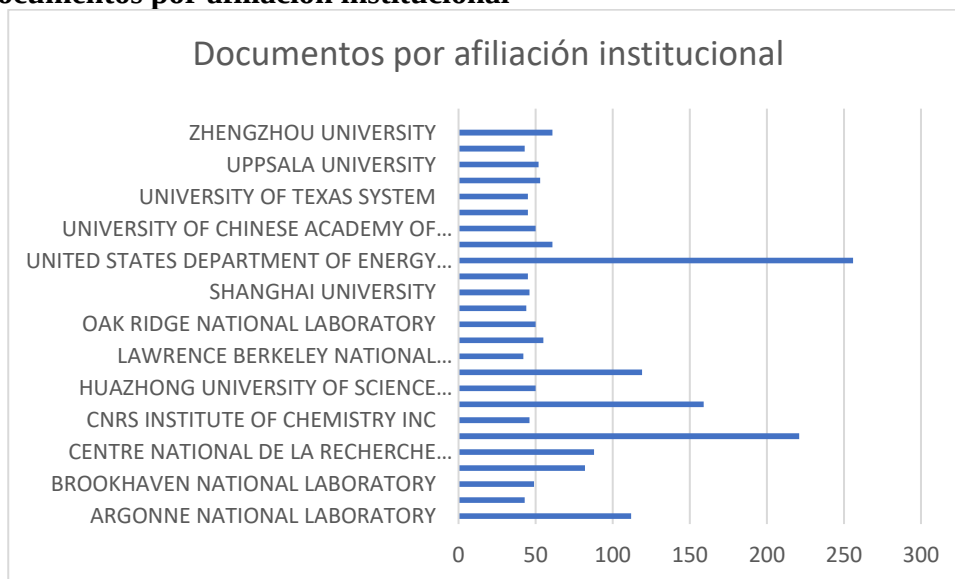


Ilustración 317: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra en las afiliaciones un fuerte bloque asiático (CAS, Tsinghua) y europeo (INL, CIC), articulado con la industria.

7.6. Documentos por país o territorio

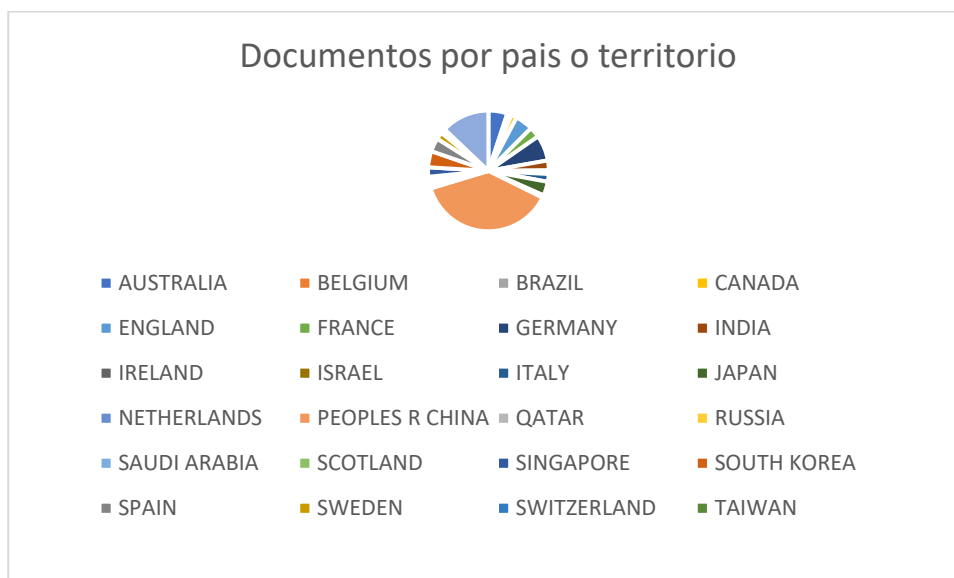


Ilustración 318: Documentos por país o territorio

El diagrama anterior muestra claramente que China, Unión Europea, Estados Unidos, se mantienen al tope. China es el país que lidera las investigaciones.

7.7. Documentos por área temática

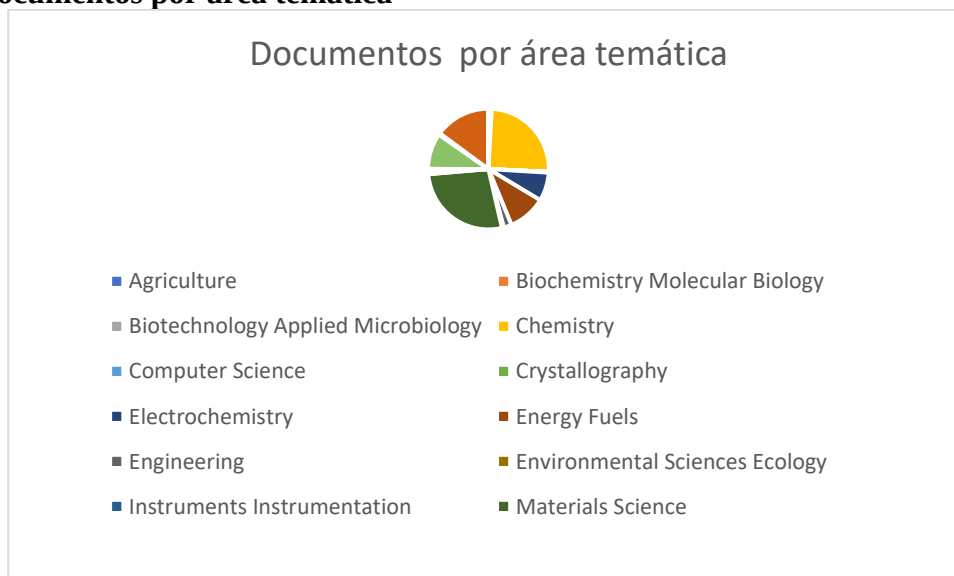


Ilustración 319: Documentos por área temática

Las áreas Materials Science, Chemistry y Biochemistry son las áreas que lideran esta investigación con una optimización de cinética Na^+ , estabilidad a baja temperatura, y diseño de anodos porosos.

7.8. Documentos por agencias patrocinadoras

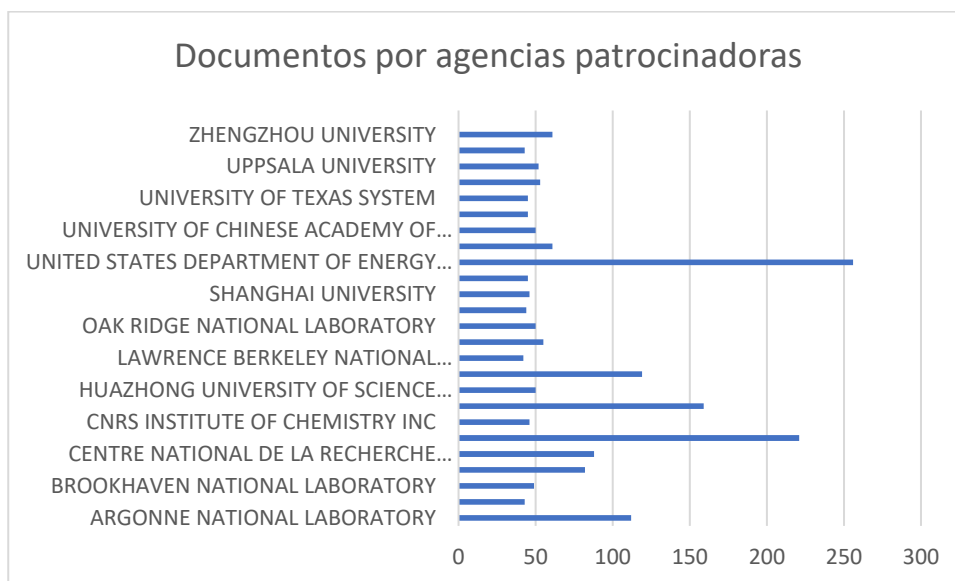


Ilustración 320: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias que más patrocinio hacen a la investigación son los programas nacionales de Estados Unidos orientados a seguridad estratégica de materiales.

8. Hybrid battery AND lifetime

8.1.Publicaciones por año



Ilustración 321: Publicaciones por año

La ilustración muestra una pendiente creciente a partir del año 2016 con una serie heterogénea, pero con repuntes o sobresaltos por gestión de picos de potencia y extensión de ciclos.

8.2.Documentos por tipo

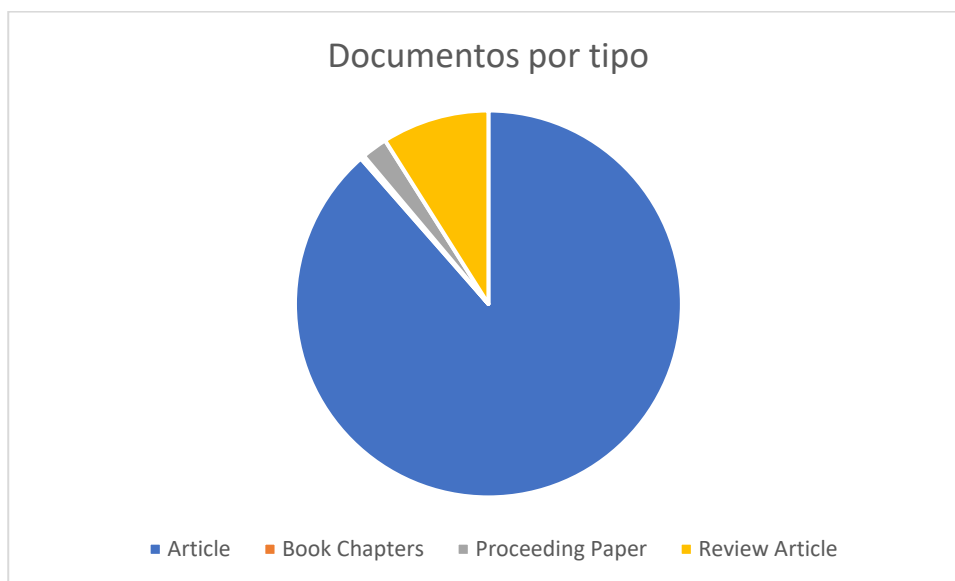


Ilustración 322: Documentos por tipo

La ilustración muestra que los artículos dominan la investigación con demostradores de ciclo extendido y perfiles HEV, mientras que los proceedings papers reportan integración electrónica.

8.3. Documentos por autor

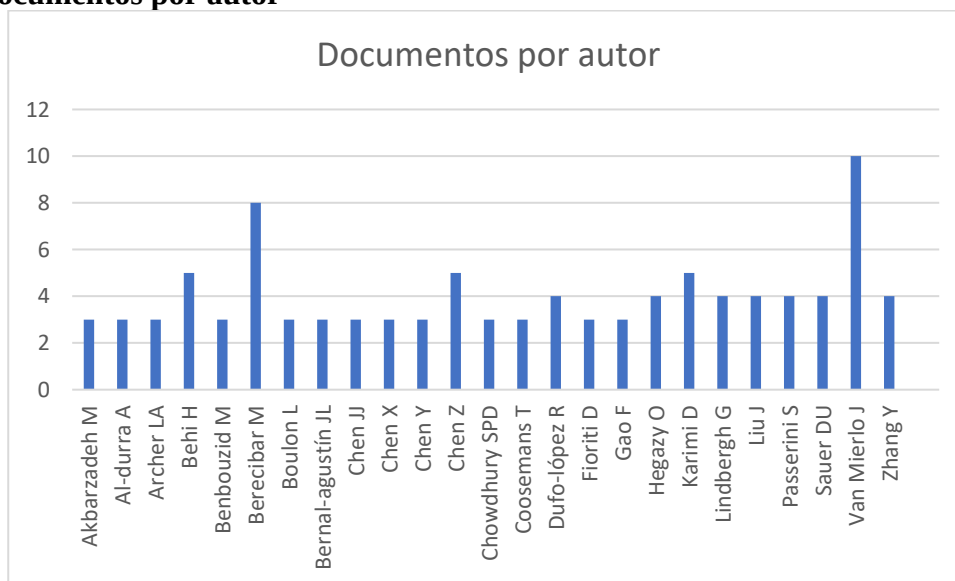


Ilustración 323: Documentos por autor

Los autores que más sobresalen como muestra la ilustración son grupos que combinan electroquímica con power electronics para híbridos.

8.4. Documentos por categoría de WoS

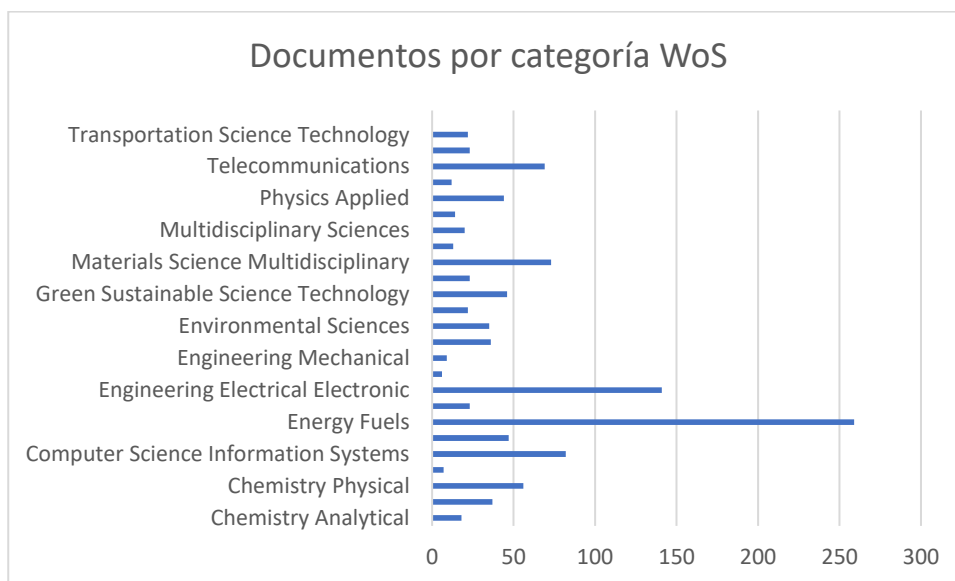


Ilustración 324: Documentos por categoría de WoS

La categoría Energy Fuels, Engineering Electrical Electronic y Materials Science tiene un foco creciente en control y envejecimiento.

8.5. Documentos por afiliación institucional

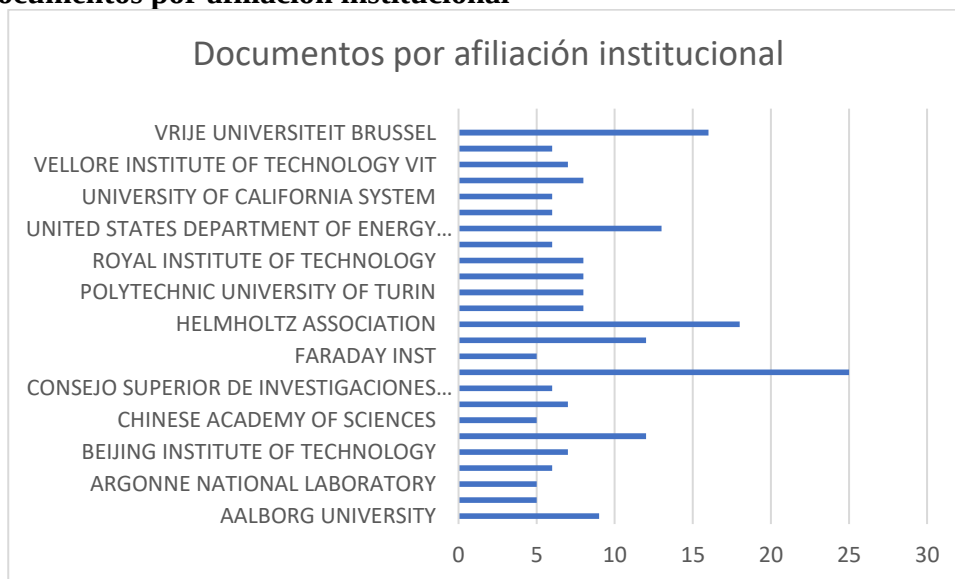


Ilustración 325: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra que las afiliaciones institucionales que sobresalen son: Bank EKB, Helmholtz Association y algunos consorcios académicos, industriales con bancos de prueba módulo/pack.

8.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 326: Documentos por país o territorio

La ilustración muestra que China y Estados Unidos dominan las investigaciones acerca del tiempo de vida útil de las baterías híbridas. La Unión Europea también tiene correlación con industria HEV.

8.7. Documentos por área temática

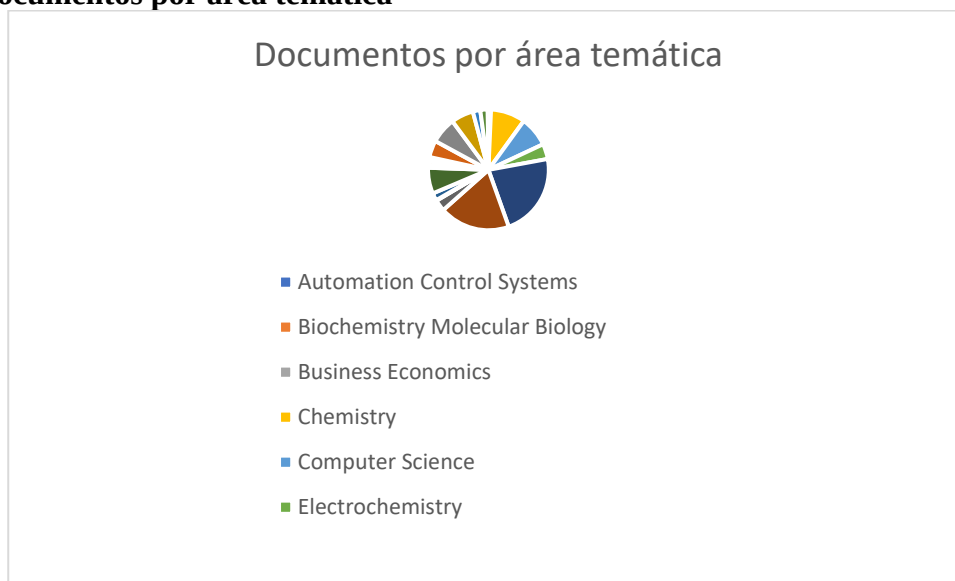


Ilustración 327: Documentos por área temática

El área temática más sobresaliente en la ilustración es Energy Fuels seguida por Engineering, hablan acerca de la degradación bajo carga pulsante, BMS híbrido y estrategias SOH.

8.8. Documentos por agencias patrocinadoras

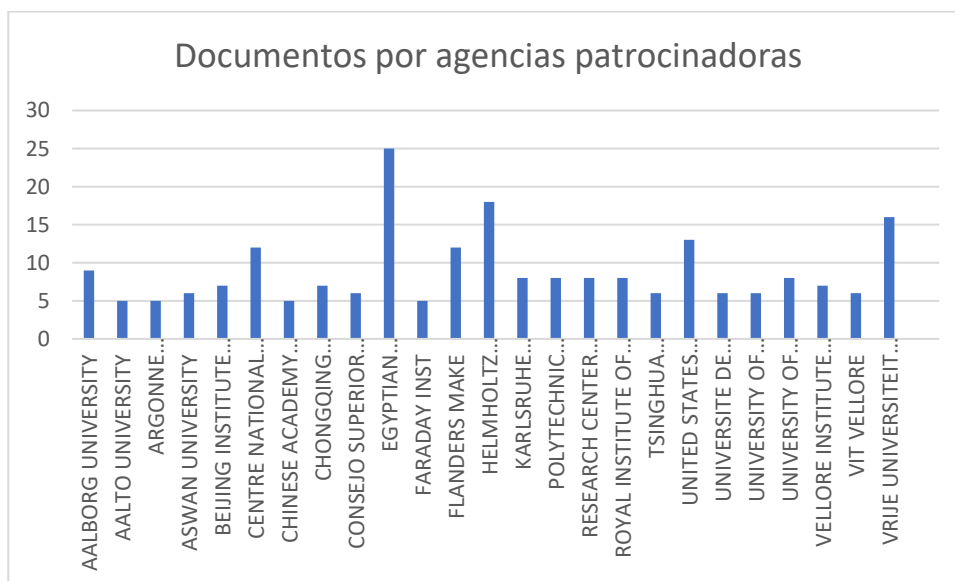


Ilustración 328: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras más influyentes presentes en la ilustración son proyectos orientados a vida útil garantizada y fiabilidad en flotas.

9. Battery efficiency AND charging

9.1.Publicaciones por año



Ilustración 329: Publicaciones por año

La ilustración muestra un crecimiento ponderado a partir de 2016 debido a la electrificación masiva y optimización de pérdidas en ohm/térmicas.

9.2.Documentos por tipo

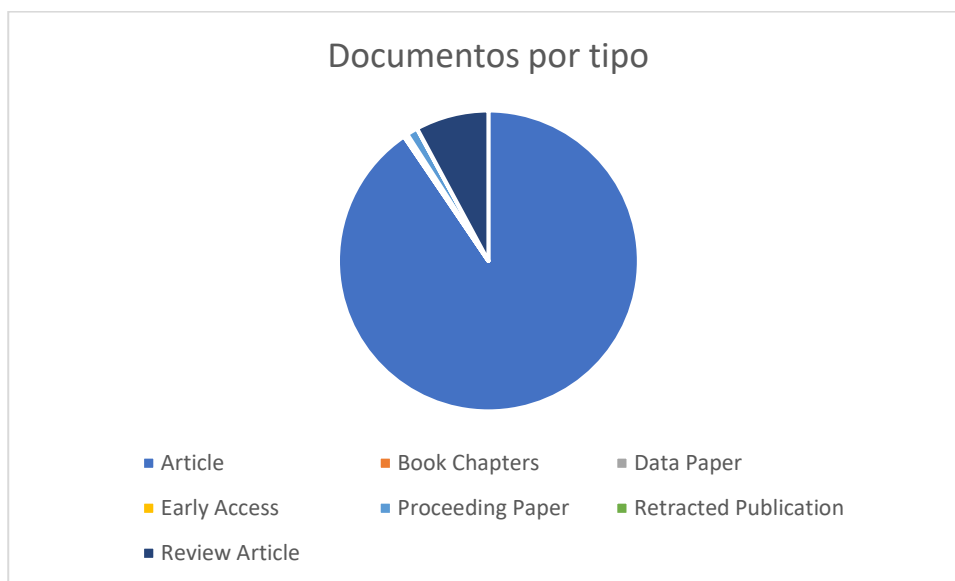


Ilustración 330: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en la investigación dominan artículos con métricas de carga y descarga, seguido por reviews de mejores prácticas para mantener la eficiencia y carga de las baterías para vehículos eléctricos.

9.3. Documentos por autor

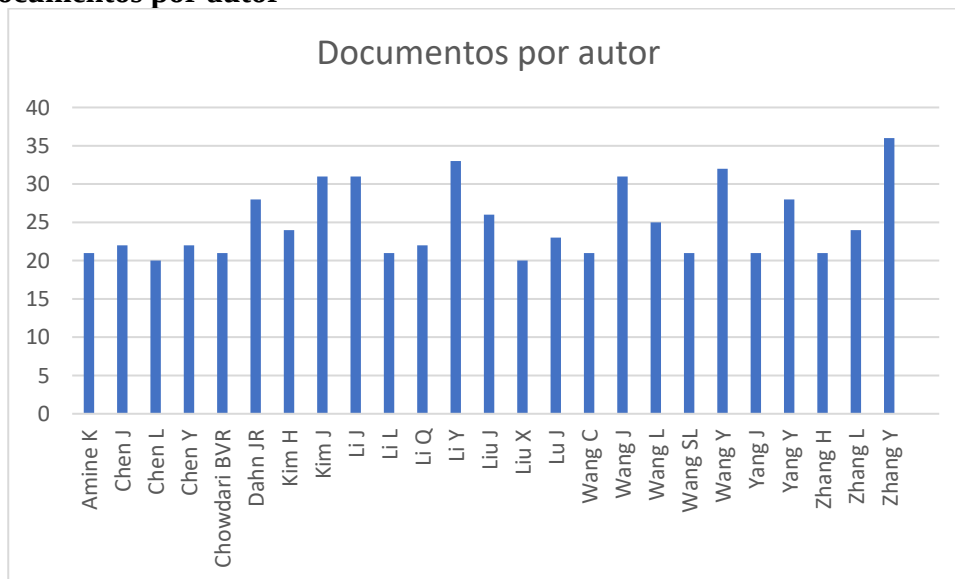


Ilustración 331: Documentos por autor

Los autores con mayor autoría en la ilustración sobresalen con estudios de equipos de termodinámica aplicada y gestión térmica.

9.4. Documentos por categoría de WoS

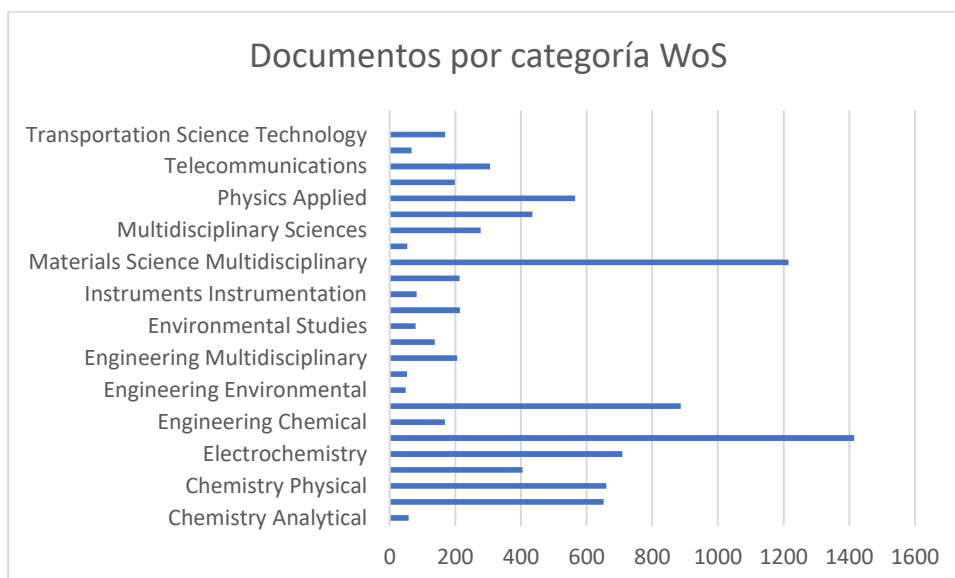


Ilustración 332: Documentos por categoría de WoS

En la ilustración se muestra que las categorías que más sobresalen son: Energy, Electrochemistry, Electrical y Engenniering ya que cuentan con un mayor cruce entre ellas con control.

9.5. Documentos por afiliación institucional

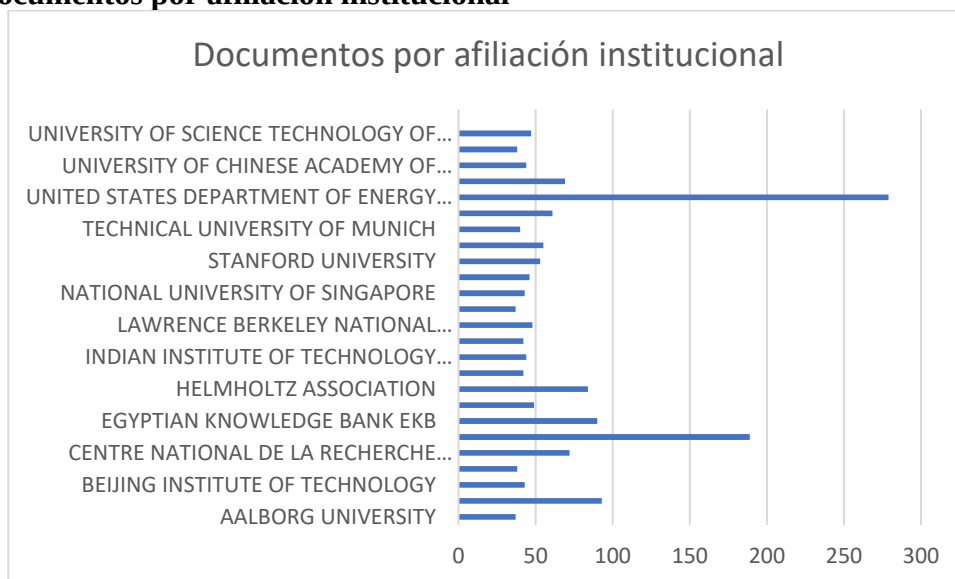


Ilustración 333: Documentos por afiliación institucional

Laboratorios con cámaras climáticas y análisis PEIS, GITT son las afiliaciones institucionales que se muestran en la ilustración que más destacan.

9.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 334: Documentos por país o territorio

En la ilustración se puede observar que China y USA son los países con más estudios de la eficiencia y carga de las baterías para vehículos eléctricos, con énfasis europeo en normativa de carga.

9.7. Documentos por área temática



Ilustración 335: Documentos por área temática

La ilustración muestra que las áreas temáticas: Materials Science, Engineering, Energy Fuels y Chemistry en sus documentos de investigación abarcan algoritmos de carga eficiente y minimización de degradación.

9.8. Documentos por agencias patrocinadoras

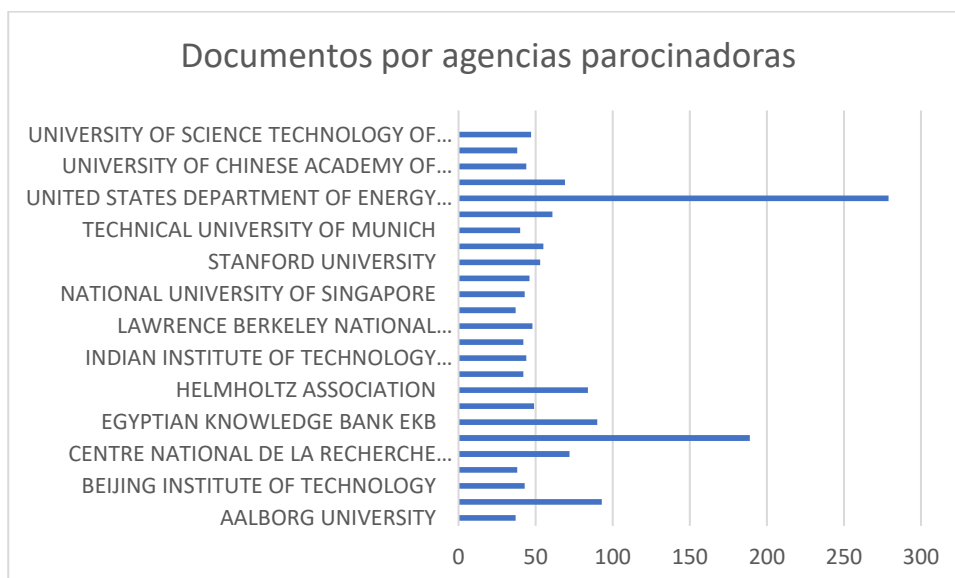


Ilustración 336: Documentos por agencias patrocinadoras

La ilustración muestra que la Academia de Ciencias Chinas y el Departamento de Energía de Estados Unidos son las agencias patrocinadoras más influyentes que utilizan fondos para infraestructura de carga y eficiencia energética.

10. Battery lifespan AND Li-ion

10.1. Publicaciones por año



Ilustración 337: Publicaciones por año

En la ilustración se puede evidenciar una tendencia ascendente a partir del año 2018 debido a las garantías de EV y segunda vida.

10.2. Documentos por tipo

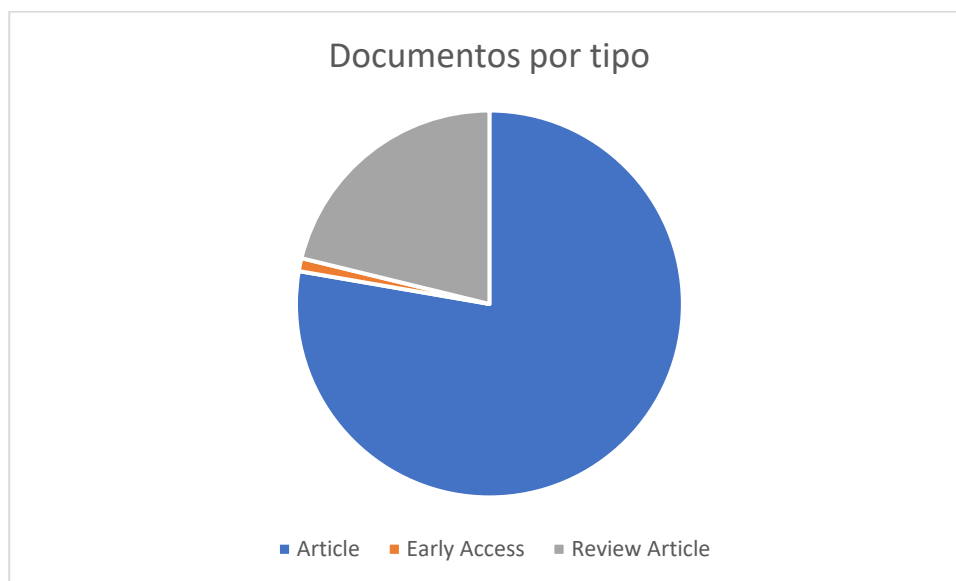


Ilustración 338: Documentos por tipo

La ilustración muestra que la investigación en su mayoría se realizó en artículos con ensayos acelerados, seguidos por reviews de RUL y SOH.

10.3. Documentos por autor

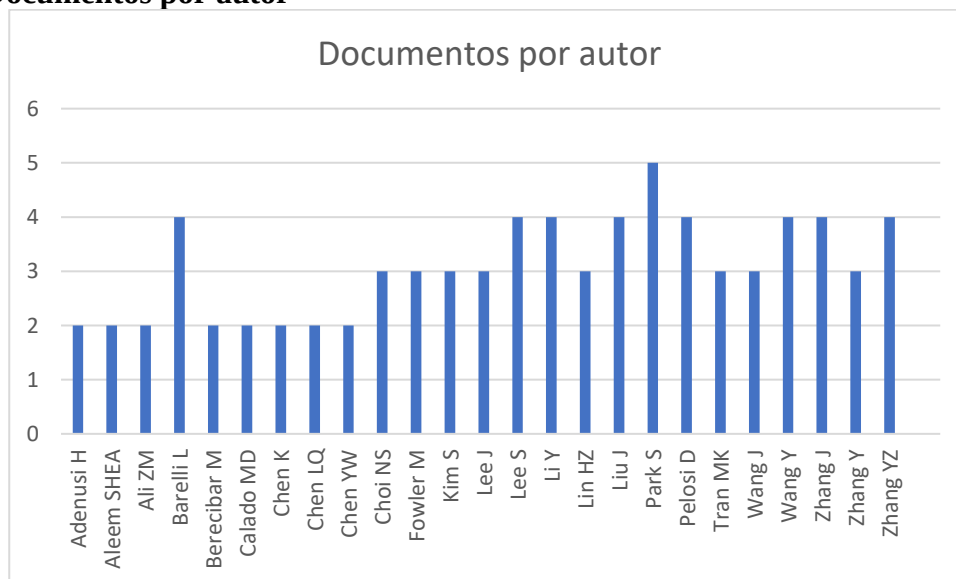


Ilustración 339: Documentos por autor

Los documentos más publicados por cada autor mostrados en la ilustración provienen de comunidades de diagnósticos y modelos híbridos llamados físico-data.

10.4. Documentos por categoría de WoS

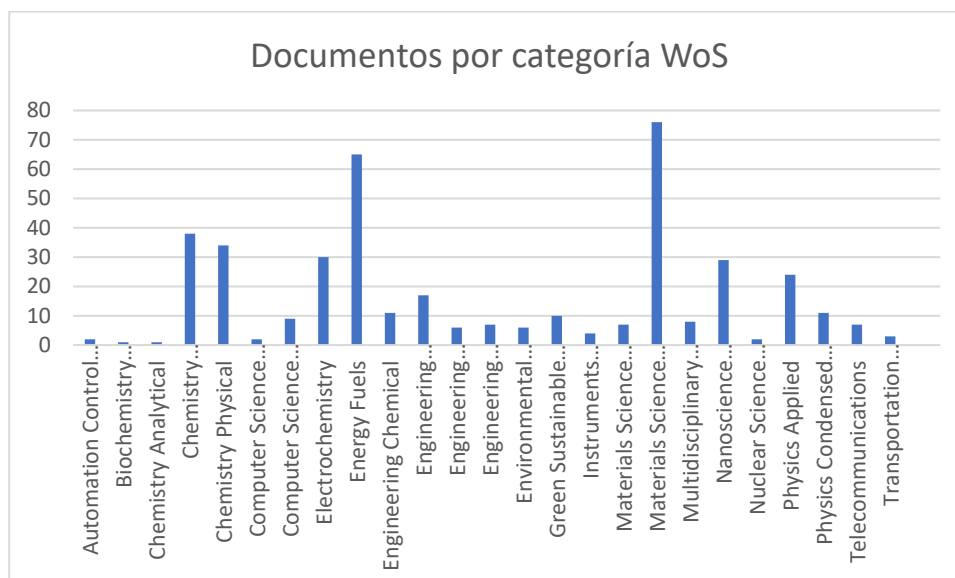


Ilustración 340: Documentos por categoría de WoS

Las categorías que sobresalen son Materials Science y Energy Fuels estas categorías sobresalen en sus documentos por estimadores EKF, UKF y ML.

10.5. Documentos por afiliación institucional

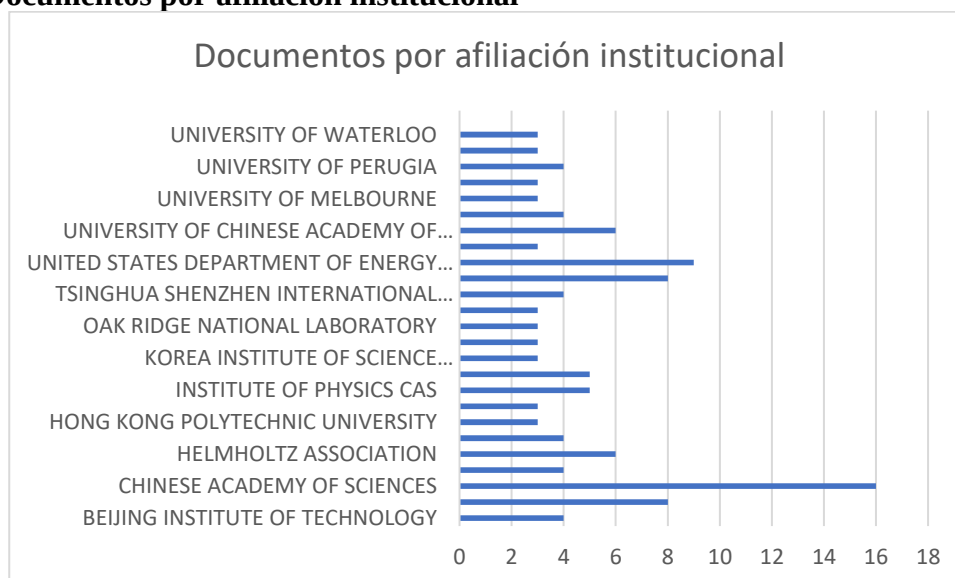


Ilustración 341: Documentos por afiliación institucional

La Academia de Ciencias China es la institución con más afiliación para el tema de la vida útil de las baterías y los centros con pilas instrumentadas y bancos pack.

10.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 342: Documentos por país o territorio

En la ilustración se observa que China tiene una tendencia ascendente con foco en el ciclo de vida de las baterías para vehículos eléctricos.

10.7. Documentos por área temática

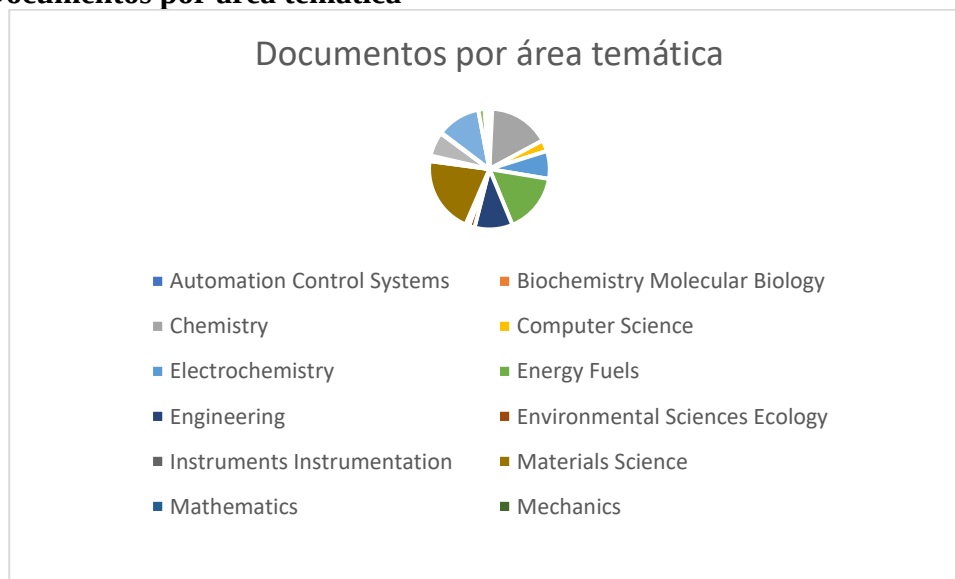


Ilustración 343: Documentos por área temática

La ilustración muestra que las áreas Materials Science, Energy Fuels y Chemistry tienen mecanismos de fade SEI, Li-plating, fractura.

10.8. Documentos por agencias patrocinadoras

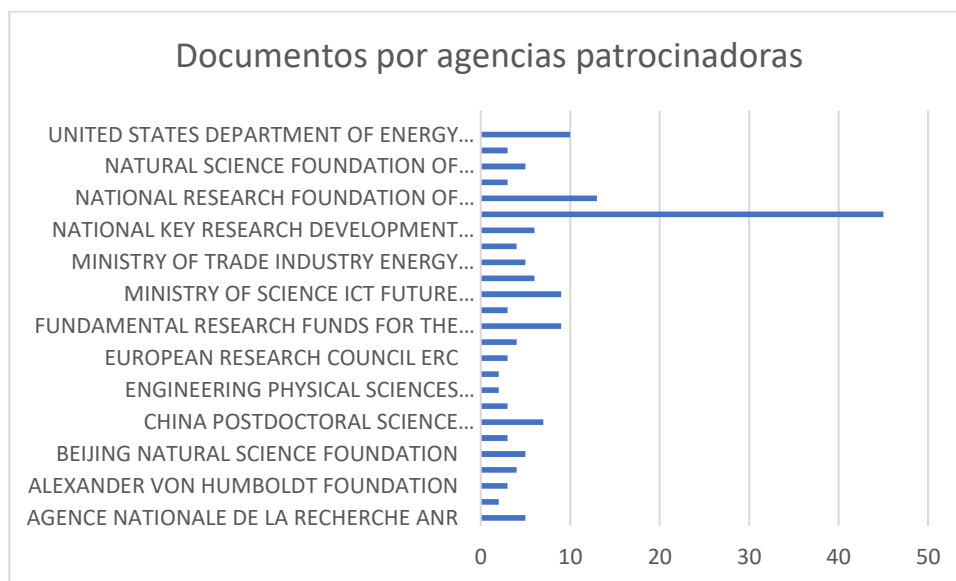


Ilustración 344: Documentos por agencias patrocinadoras

En la ilustración las agencias patrocinadoras con más patrocinio son la NSFC Fundacion de Ciencias Naturales de China que tiene programas dirigidos a durabilidad y garantías.

11. Battery thermal management AND vehicle

11.1.Publicaciones por año



Ilustración 345: Publicaciones por año

La ilustración muestra que a partir del año 2019 hubo un incremento debido a densidades altas y regulación de seguridad.

11.2.Documentos por tipo

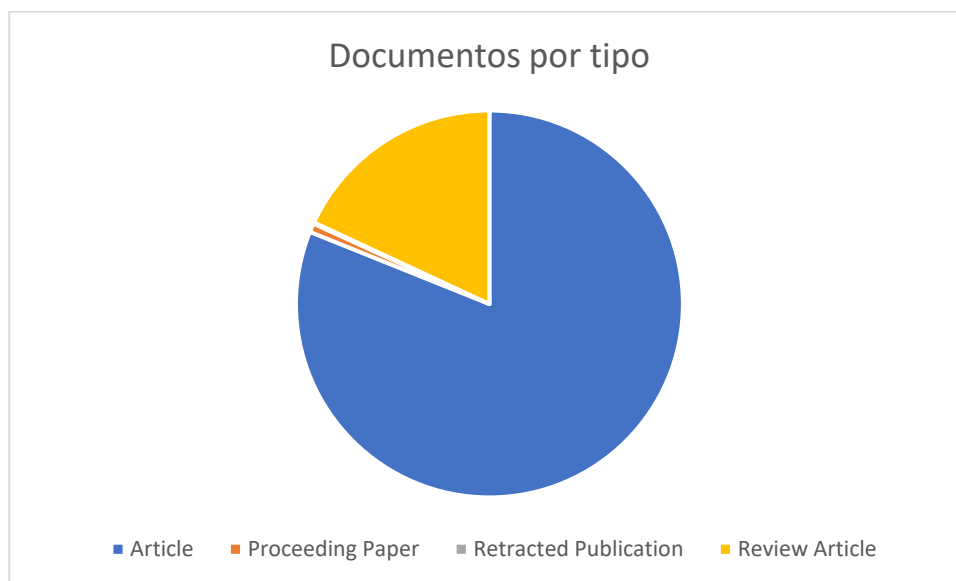


Ilustración 346: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en el tema de gestión térmica de la batería y del vehículo se investigaron más en artículos de diseño, CFD y ensayos de carga rápida.

11.3. Documentos por autor

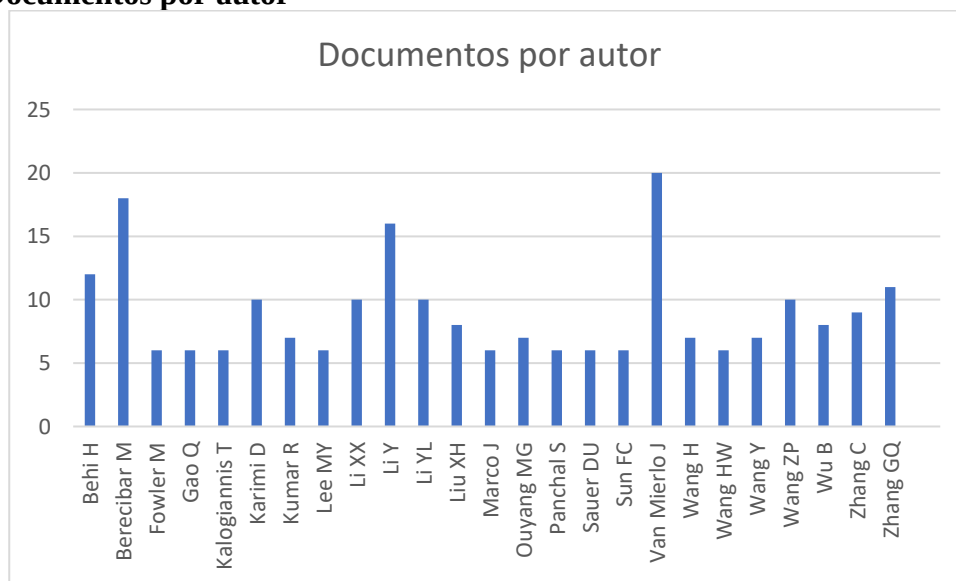


Ilustración 347: Documentos por autor

La ilustración muestra las innumerables coautorías de grupos mixtos de termo fluidos y baterías.

11.4. Documentos por categoría de WoS

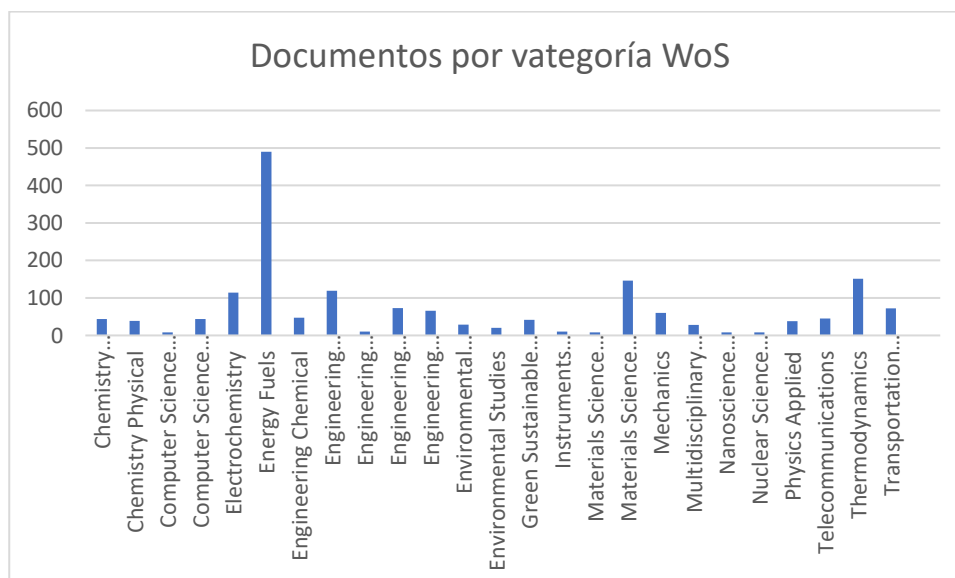


Ilustración 348: Documentos por categoría de WoS

La categoría más sobresaliente mostrada en la ilustración es Energy Fuels ya que con esta se obtuvo mejores resultados en la gestión térmica de la batería y del vehículo

11.5. Documentos por afiliación institucional

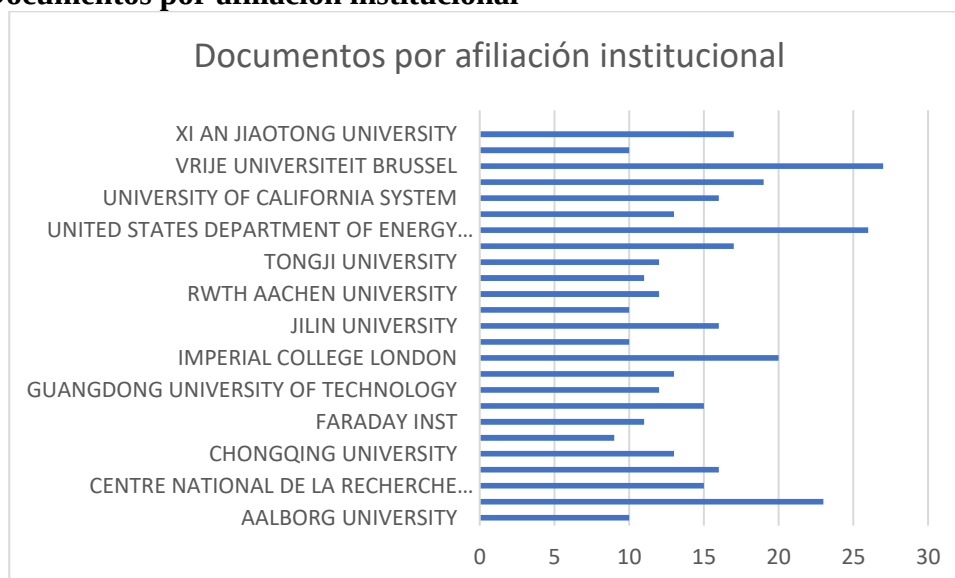


Ilustración 349: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra que las instituciones en tendencia son instituciones con bancos pack y cámaras térmicas.

11.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 350: Documentos por país o territorio

En la ilustración el Bloque de China domina notablemente, seguido por el bloque de Inglaterra y USA, con una correlación con OEMs.

11.7. Documentos por área temática



Ilustración 351: Documentos por área temática

La ilustración de áreas temáticas muestra que Energy Fuels, Engineering abarcan mapas térmicos, propagación y aislamiento

11.8. Documentos por agencias patrocinadoras

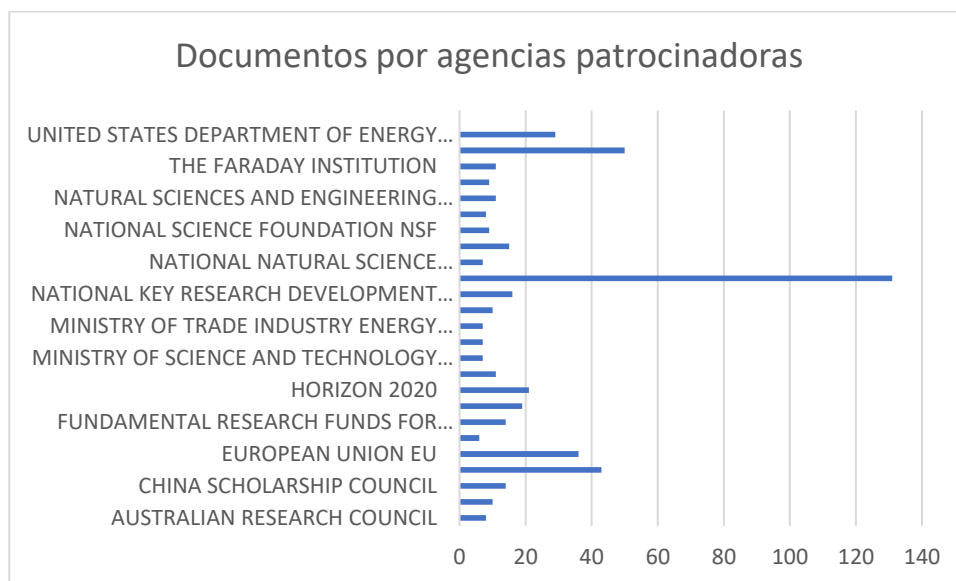


Ilustración 352: Documentos por agencias patrocinadoras

La ilustración muestra que las agencias patrocinadoras son agencias de seguridad y eficiencia en EV.

12. Battery safety AND thermal runaway

12.1.Publicaciones por año



Ilustración 353: Publicaciones por año

La ilustración muestra aumento claro post 2017 por incidentes de alto perfil de seguridad de la batería y descontrol térmico.

12.2.Documentos por tipo

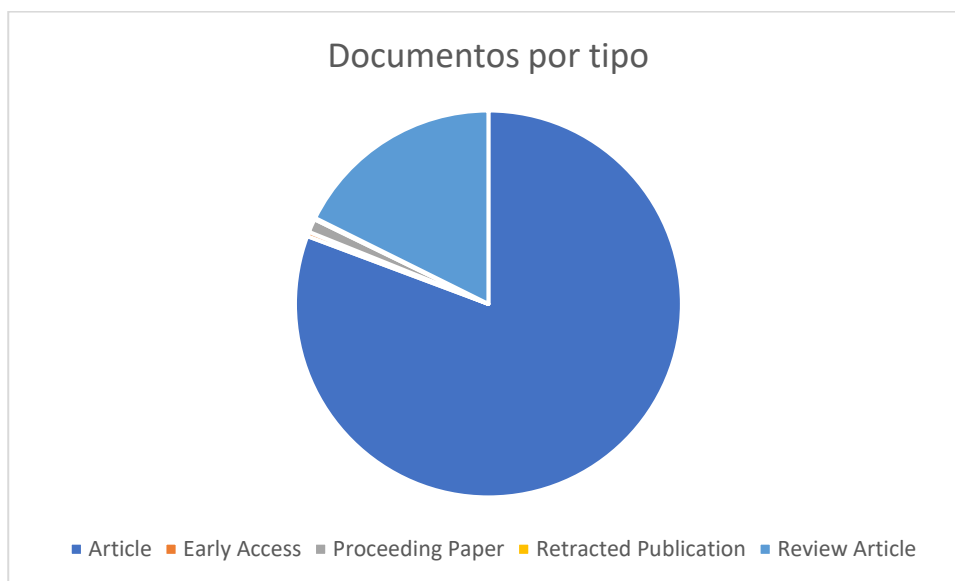


Ilustración 354: Documentos por tipo

La ilustración muestra que su mayoría hay artículos experimentales de pruebas de abuso y simulación CFD y FEM, seguidos por reviews de artículos que consolidan umbrales.

12.3. Documentos por autor

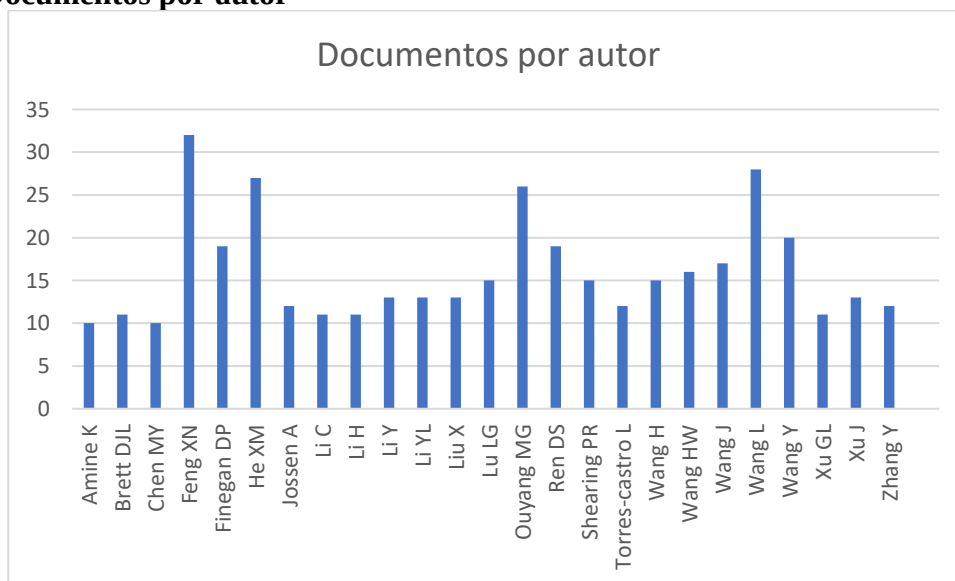


Ilustración 355: Documentos por autor

Los autores presentes en la ilustración se fundamentan en núcleos de seguridad térmica y detección temprana de gas trazador e impedancia.

12.4. Documentos por categoría de WoS

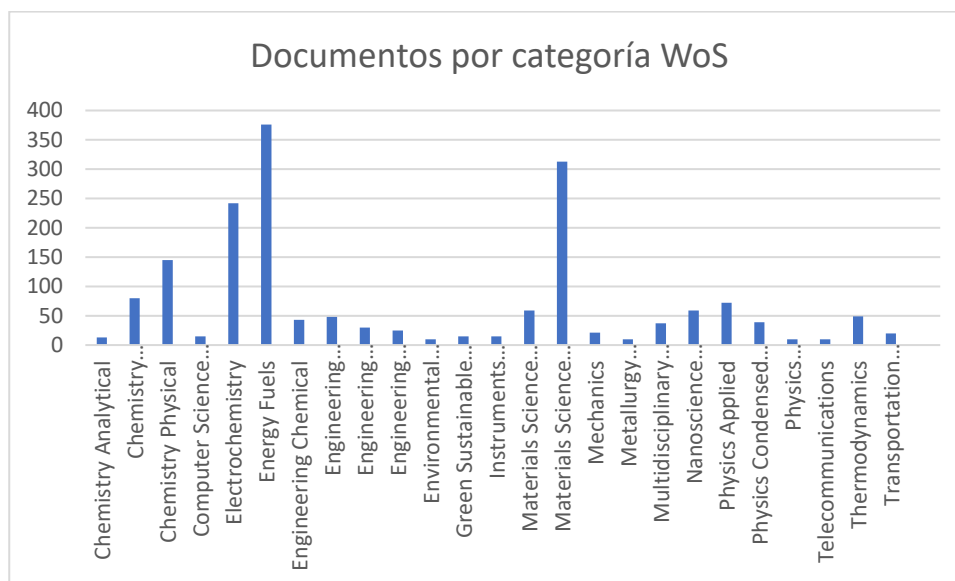


Ilustración 356: Documentos por categoría de WoS

Energy Fuels, Materials Science y Electrochemistry son las categorías de Web of Science que más se han utilizado en esta investigación para la seguridad de la batería y descontrol térmico

12.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 357: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra que la afiliación institucional en esta investigación proviene de centros con laboratorios de abuso y certificación.

12.6. Documentos por país o territorio

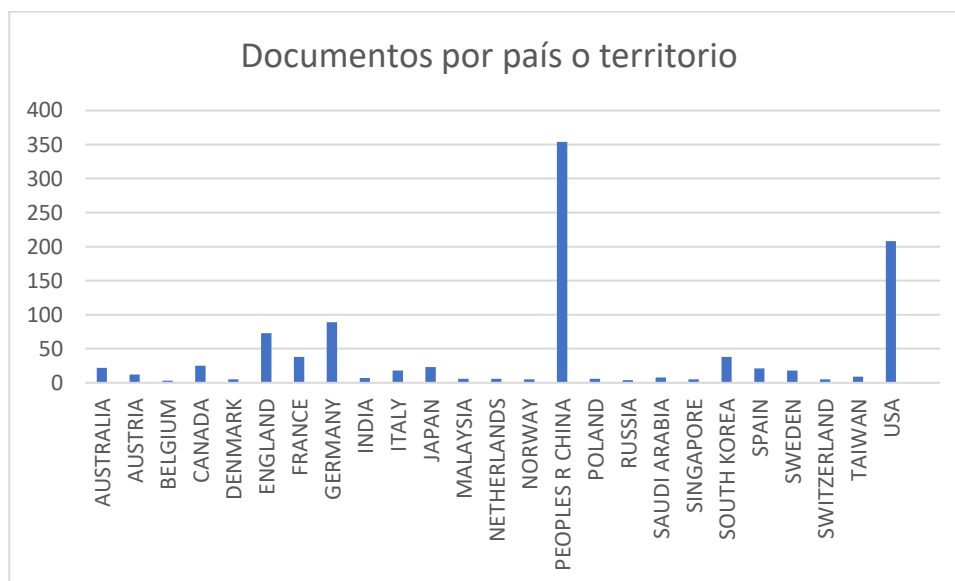


Ilustración 358: Documentos por país o territorio

La ilustración muestra que China lidera la investigación notablemente seguida por EE. UU, Alemania, Inglaterra y Canadá.

12.7. Documentos por área temática

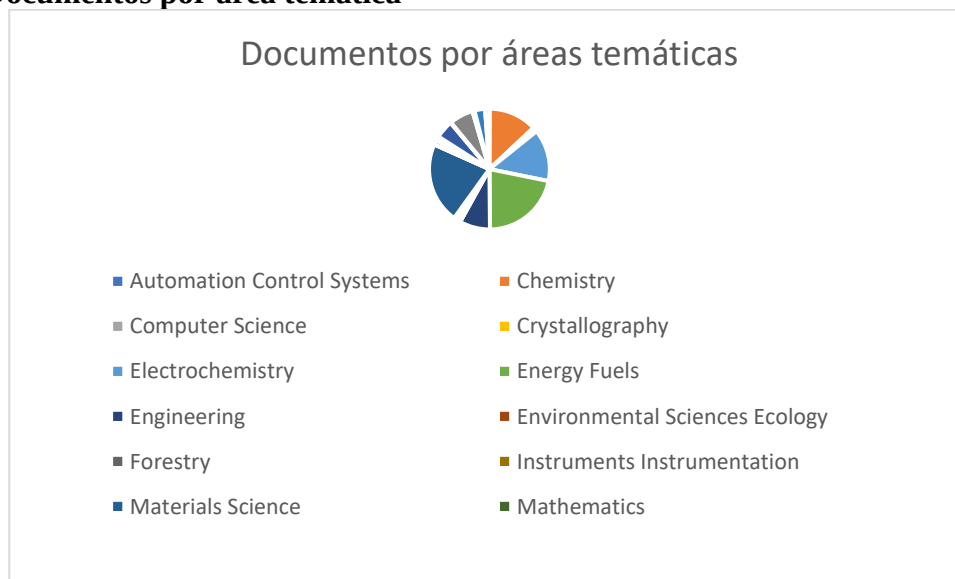


Ilustración 359: Documentos por área temática

Las áreas temáticas Energy Fuels, Materials Science y Chemistry son las áreas temáticas con más tendencia en el estudio debido a que abarcan estudios de aditivos ignífugos, electrolitos estables, barreras celda-celda.

12.8. Documentos por agencias patrocinadoras

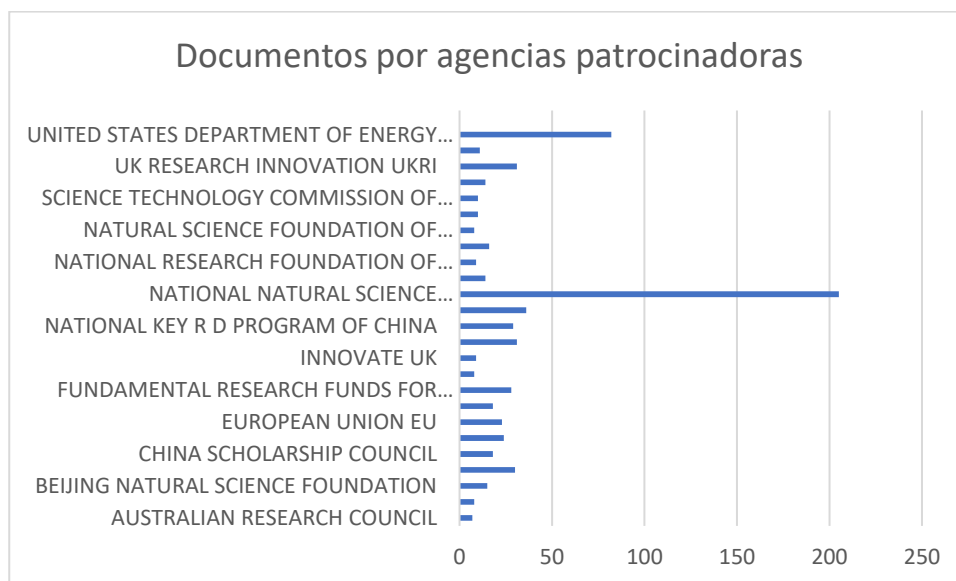


Ilustración 360: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración indican un énfasis en estándares y mitigación, acerca de la seguridad de la batería y descontrol térmico.

13. Battery cost AND electric vehicles

13.1.Publicaciones por año



Ilustración 361: Publicaciones por año

En la ilustración a partir del año 2017 se indica un incremento con la expansión EV y presión por reducción de costes.

13.2.Documentos por tipo

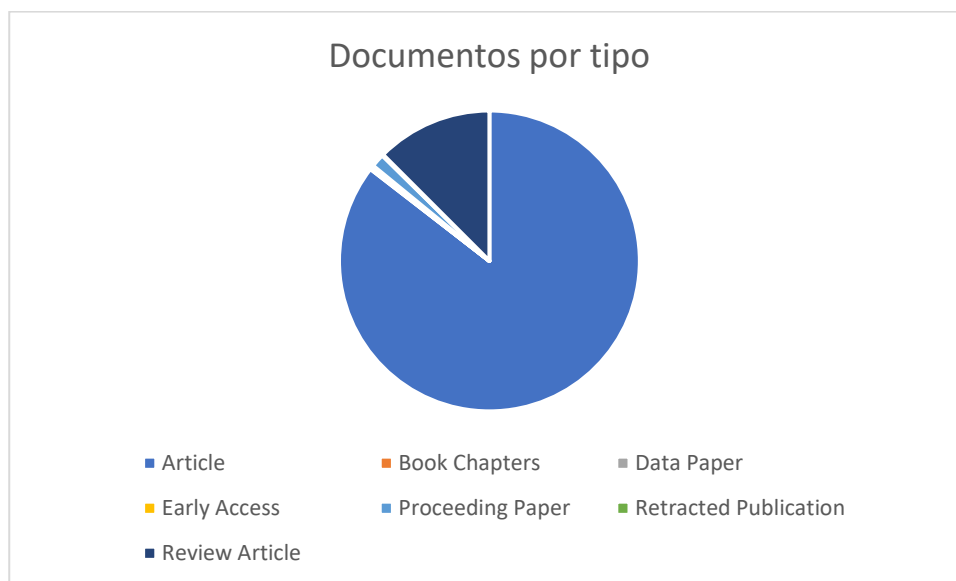


Ilustración 362: Documentos por tipo

La ilustración muestra una tendencia de artículos tecno-económicos y LCA, seguidas por reviews de aprendizaje learning rate.

13.3.Documentos por autor

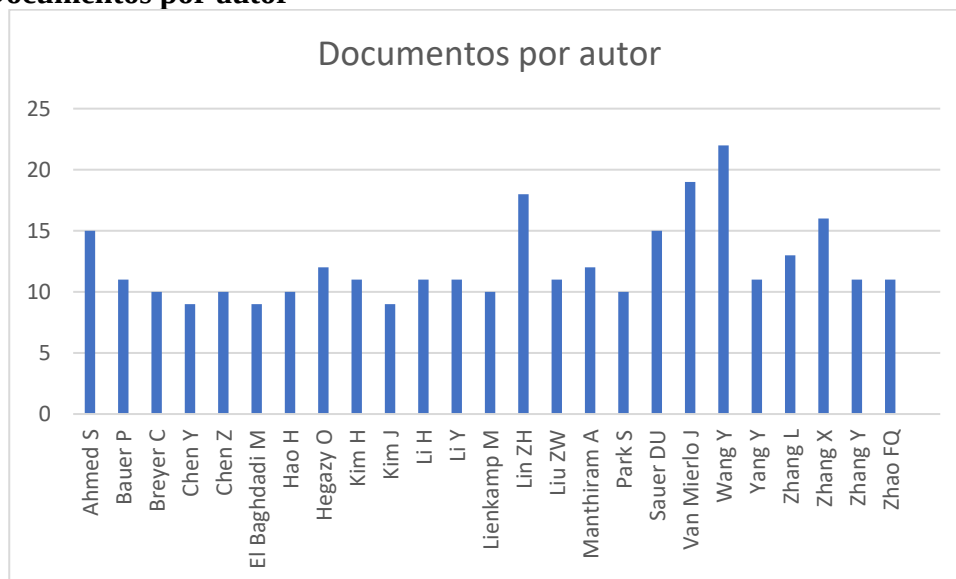


Ilustración 363: Documentos por autor

Los autores mostrados en la ilustración basaron sus publicaciones en equipos de economía de la energía y supply-chain.

13.4.Documentos por categoría de WoS

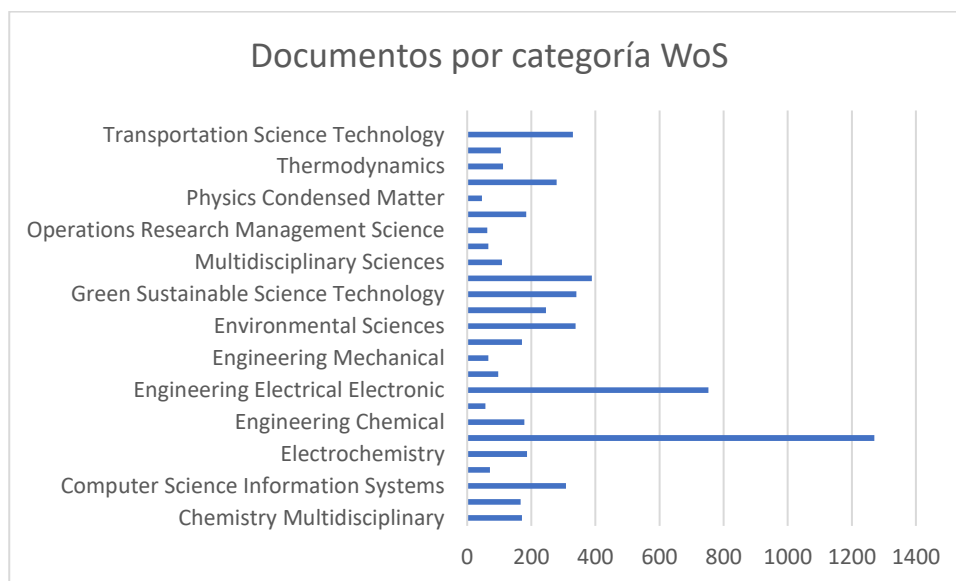


Ilustración 364: Documentos por categoría de WoS

La ilustración señala que la categoría de Energy Fuels es la que está en tendencia seguida por la categoría Engineering.

13.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 365: Documentos por afiliación institucional

Las afiliaciones institucionales mostradas en la ilustración son universidades y grupos de expertos con bases de costos.

13.6. Documentos por país o territorio

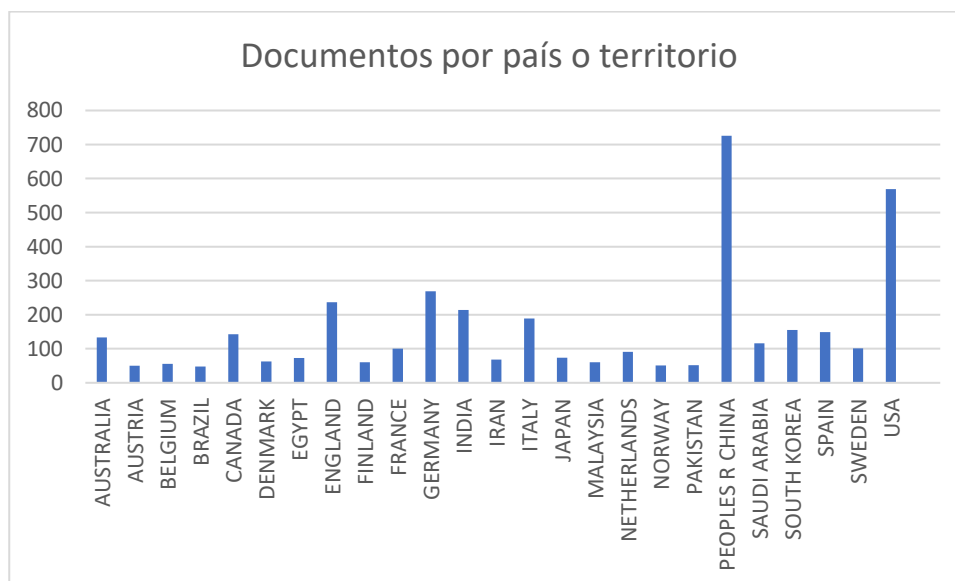


Ilustración 366: Documentos por país o territorio

Según la ilustración China y Estados Unidos dominan la investigación de costos de las baterías y vehículos eléctricos con enfoque europeo en circularidad.

13.7. Documentos por área temática



Ilustración 367: Documentos por área temática

Las áreas temáticas de la ilustración Engineering, Energy Fuels hacen una sustitución y reciclaje de Co/Ni, LFP en packs de volumen.

13.8. Documentos por agencias patrocinadoras



Ilustración 368: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración principalmente son programas sobre seguridad de suministro y costes.

14. Battery recycling AND lithium-ion

14.1. Publicaciones por año



Ilustración 369: Publicaciones por año

En la ilustración se puede observar un crecimiento fuerte por demanda de reciclaje y regulaciones, a partir del año 2018.

14.2. Documentos por tipo

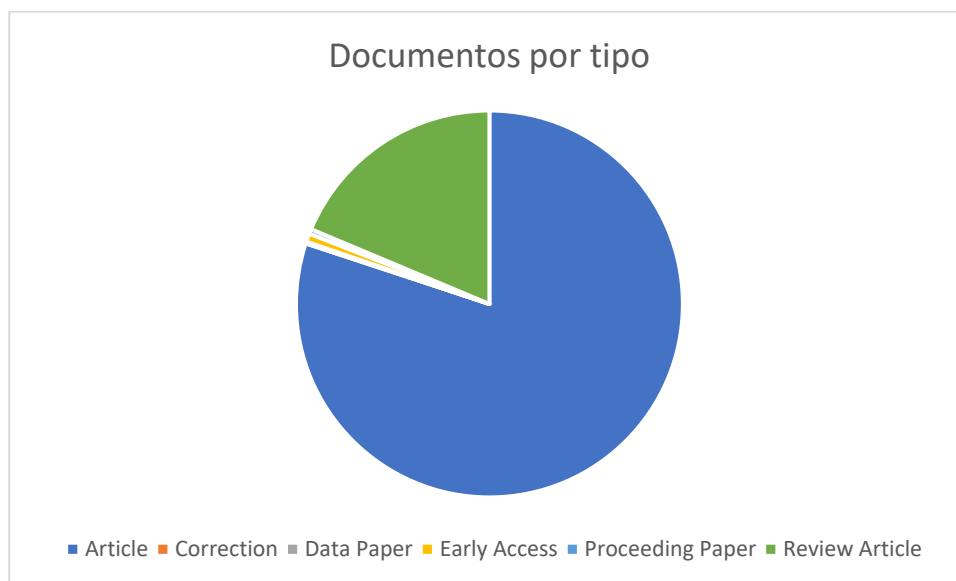


Ilustración 370: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en su mayoría son artículos de procesos y reviews de rutas directas de cátodos vs. convencionales.

14.3. Documentos por autor

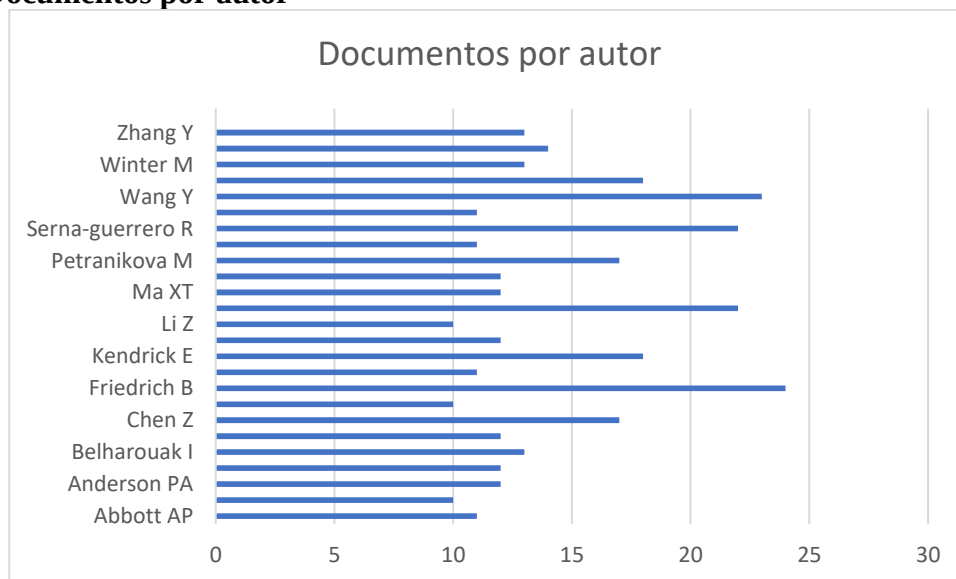


Ilustración 371: Documentos por autor

Los documentos de cada autor mostrado en la ilustración son consorcios con plantas piloto y validación de purezas.

14.4. Documentos por categoría de WoS

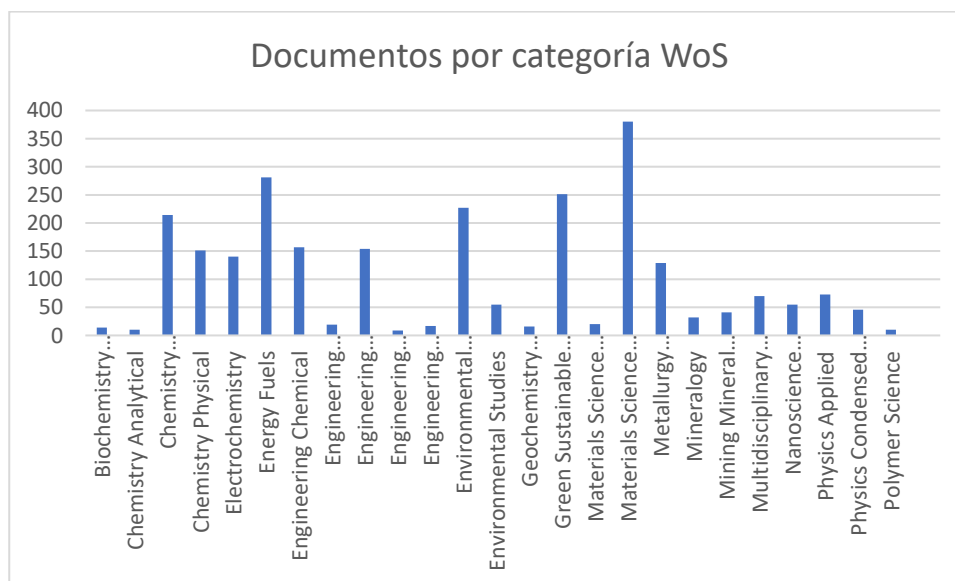


Ilustración 372: Documentos por categoría de WoS

Las categorías de Web of Science más utilizadas en este estudio son: Materials Science, Energy Fuels, que se enfocan principalmente en el reciclaje de baterías y de iones de litio.

14.5. Documentos por afiliación institucional

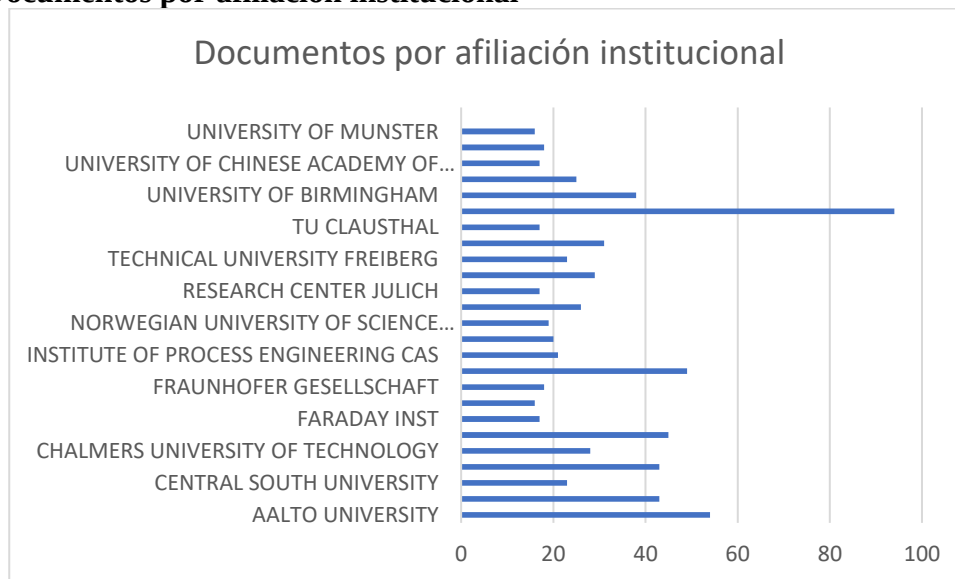


Ilustración 373: Documentos por afiliación institucional

La ilustración muestra que la afiliación institucional proviene de centros con infraestructura de proceso.

14.6. Documentos por país o territorio



Ilustración 374: Documentos por país o territorio

China, Estados Unidos y Alemania, dominan notablemente, mientras que Europa empuja marco regulatorio

14.7. Documentos por área temática

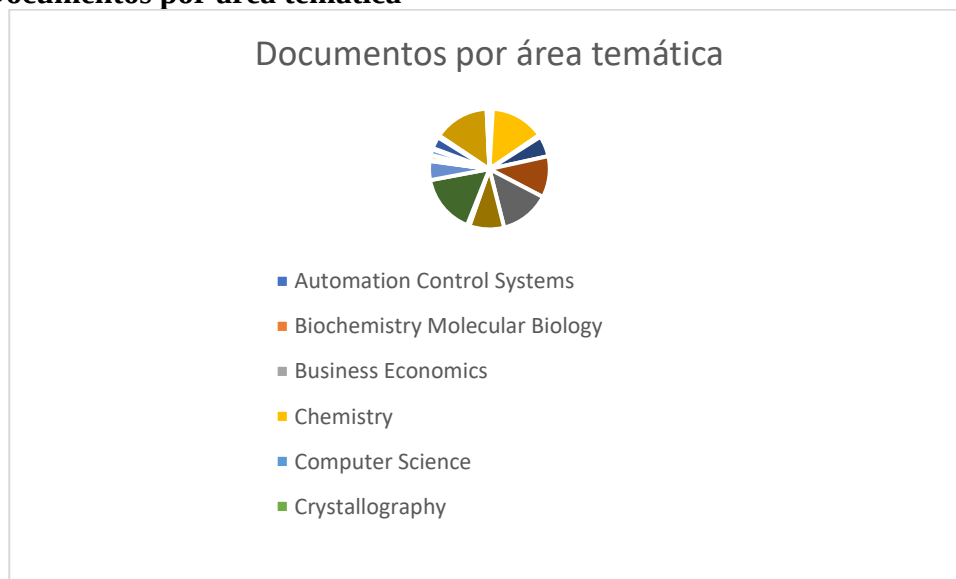


Ilustración 375: Documentos por área temática

Las áreas temáticas de la ilustración Materials Science, Chemistry y Science se basan en el modelo de recuperación de Ni, Co, Li, reprocesado de NMC y LFP.

14.8. Documentos por agencias patrocinadoras

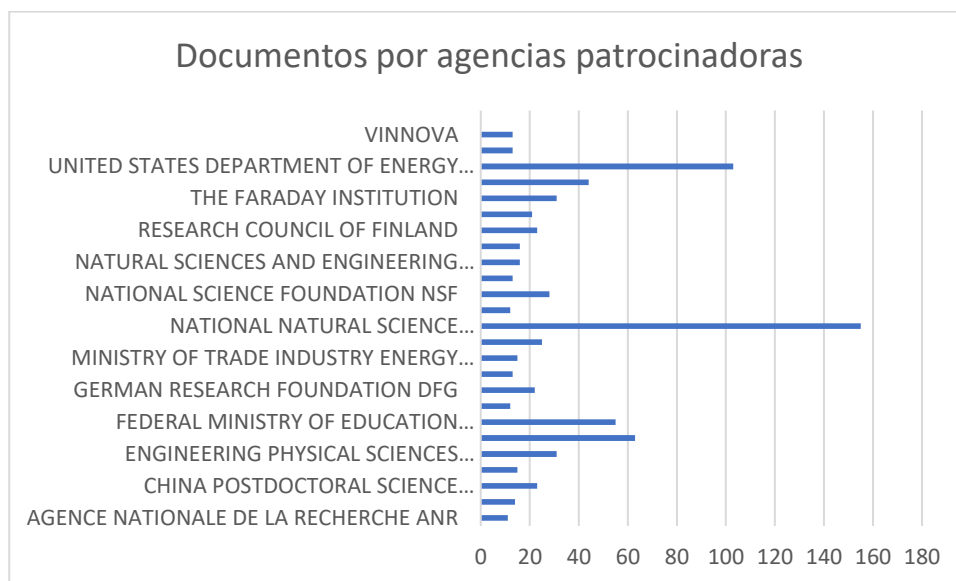


Ilustración 376: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras de la ilustración son fondos de economía circular y estrategia de materiales.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

15.1.Publicaciones por año



Ilustración 377: Publicaciones por año

En la ilustración se puede observar una serie creciente por avances en cátodos confinados y capas intermedias.

15.2.Documentos por tipo

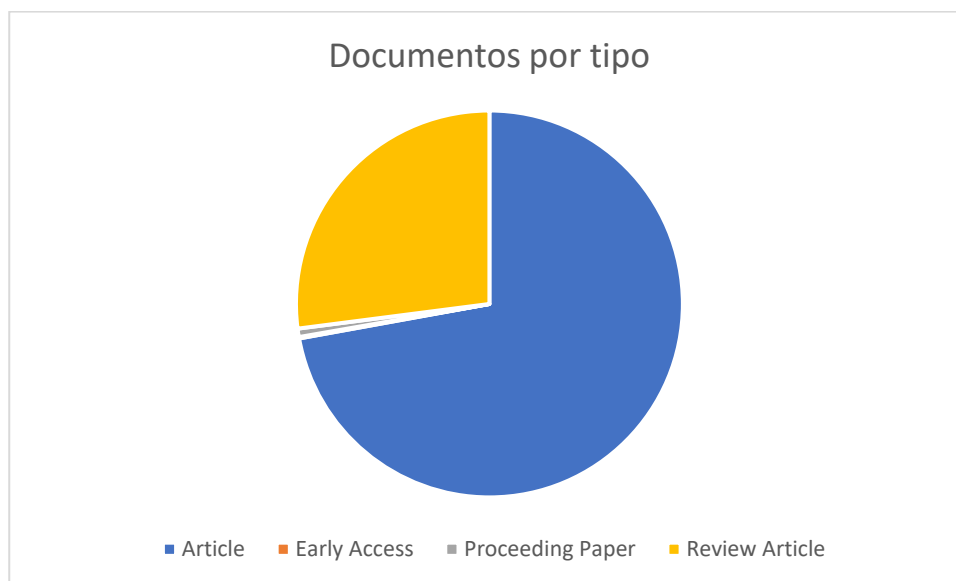


Ilustración 378: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en la investigación predominan más artículos de materiales y arquitectura seguidos por reviews de mitigación del shuttle.

15.3.Documentos por autor

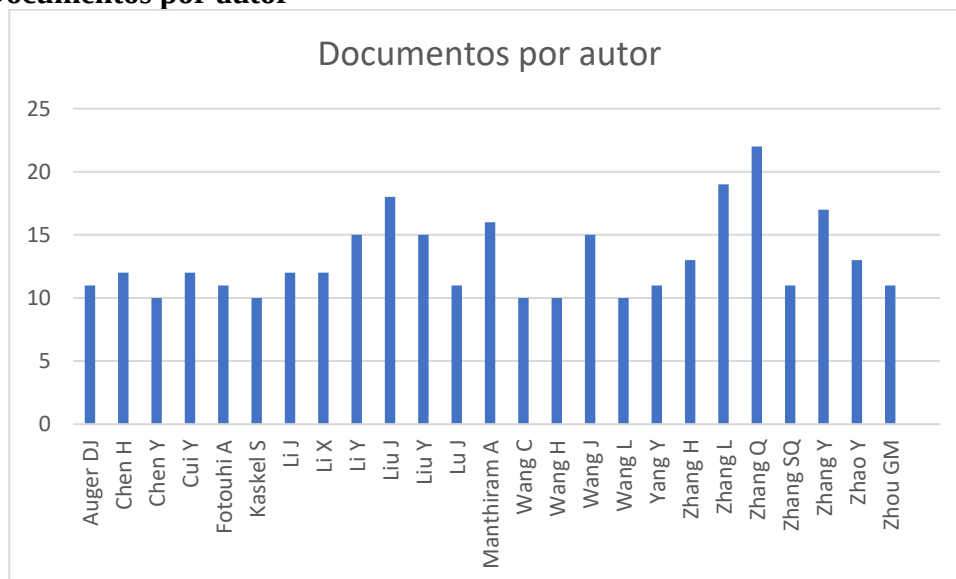


Ilustración 379: Documentos por autor

Los autores utilizados en la investigación de baterías de litio, azufre y sus aplicaciones mostradas en la ilustración son grupos en nanoestructuras porosas y adsorción de polisulfuros.

15.4.Documentos por categoría de WoS

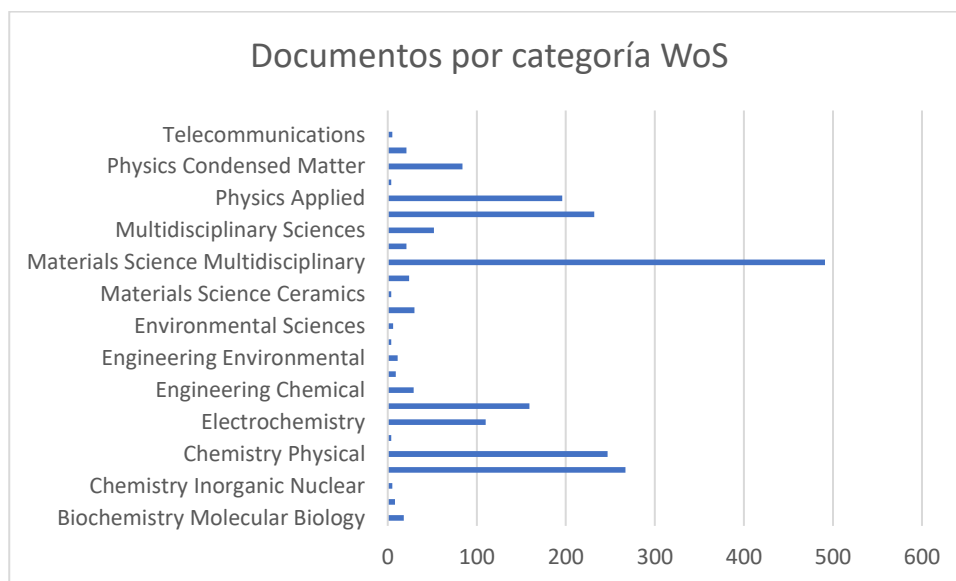


Ilustración 380: Documentos por categoría de WoS

Las categorías de web of Science en tendencia son Materials Science y Chemistry. También en pendiente creciente se encuentran Physical y Energy.

15.5. Documentos por afiliación institucional

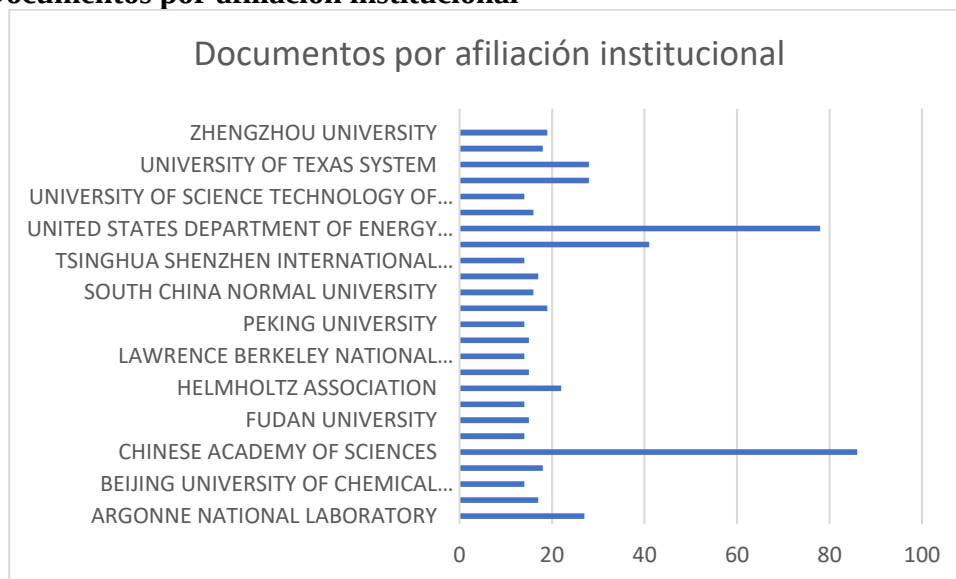


Ilustración 381: Documentos por afiliación institucional

Las afiliaciones institucionales mostradas en la ilustración son laboratorios con síntesis de carbón, sulfuro y pruebas pouch.

15.6. Documentos por país o territorio

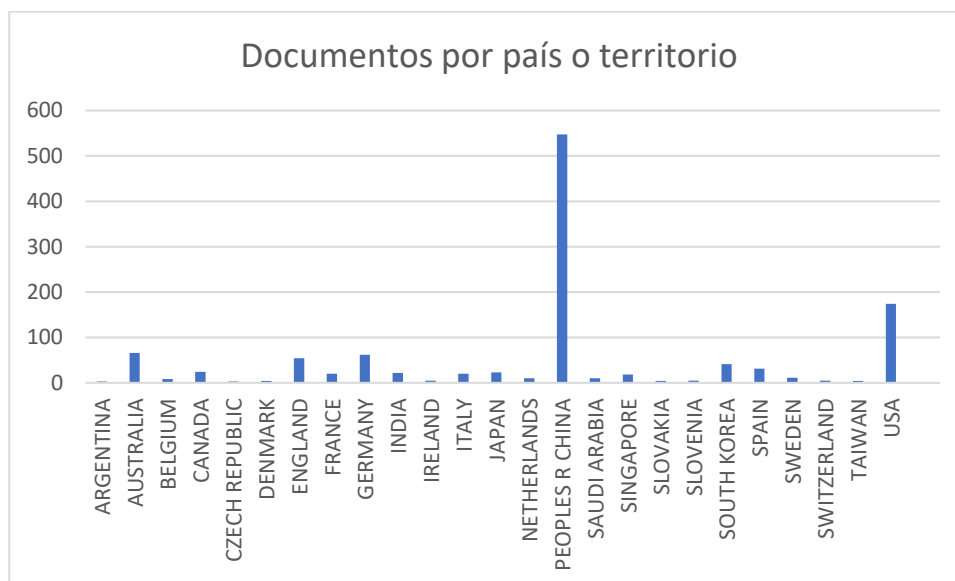


Ilustración 382: Documentos por país o territorio

La ilustración indica que Asia y EE. UU dominan la investigación de baterías de litio, azufre y sus aplicaciones prototipos académicos.

15.7. Documentos por área temática

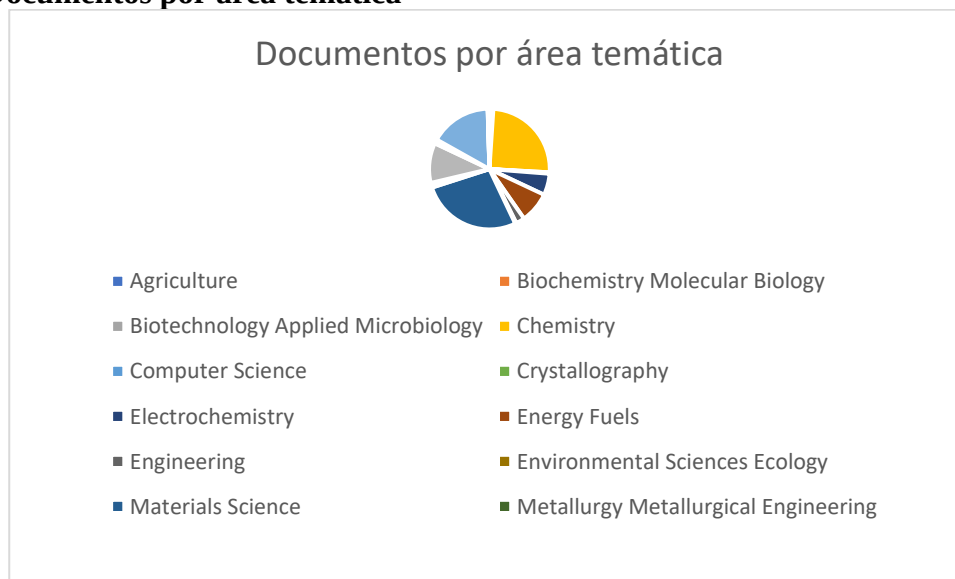


Ilustración 383: Documentos por área temática

Las áreas temáticas más influyentes mostradas en la ilustración son: Materials Science, Chemistry y Science con interfases y ánodo Li-metal.

15.8. Documentos por agencias patrocinadoras

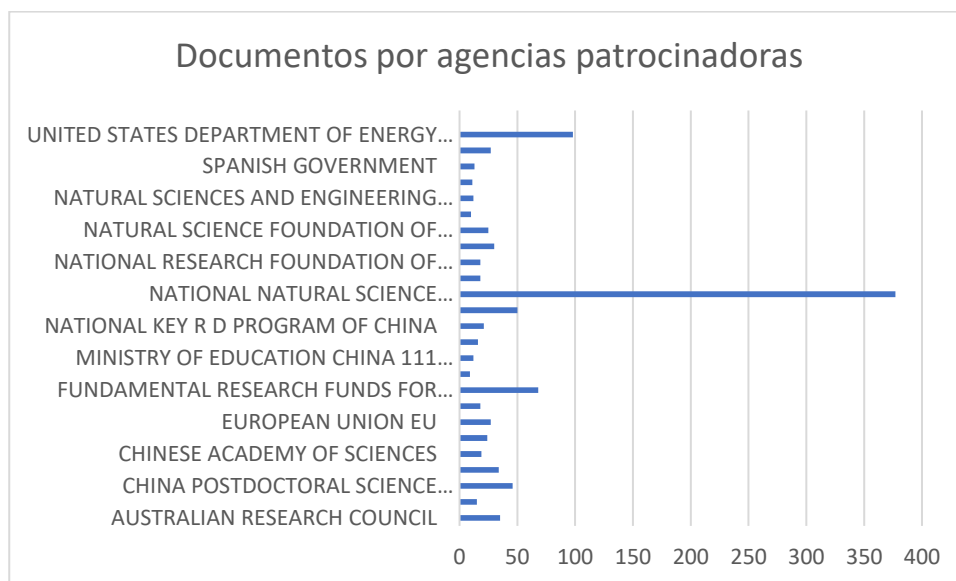


Ilustración 384: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración tienen un campo exploratorio con miras a pre-TRL.

16. Aluminum-air battery AND mobility

16.1.Publicaciones por año



Ilustración 385: Publicaciones por año

En la ilustración se observa un volumen bajo pero estables demostradores de rango extendido.

16.2.Documentos por tipo



Ilustración 386: Documentos por tipo

La ilustración muestra que en el estudio de baterías de aluminio, aire y movilidad hay artículos de celdas primarias y regeneración de ánodo, también papers y reviews de igual manera.

16.3. Documentos por autor

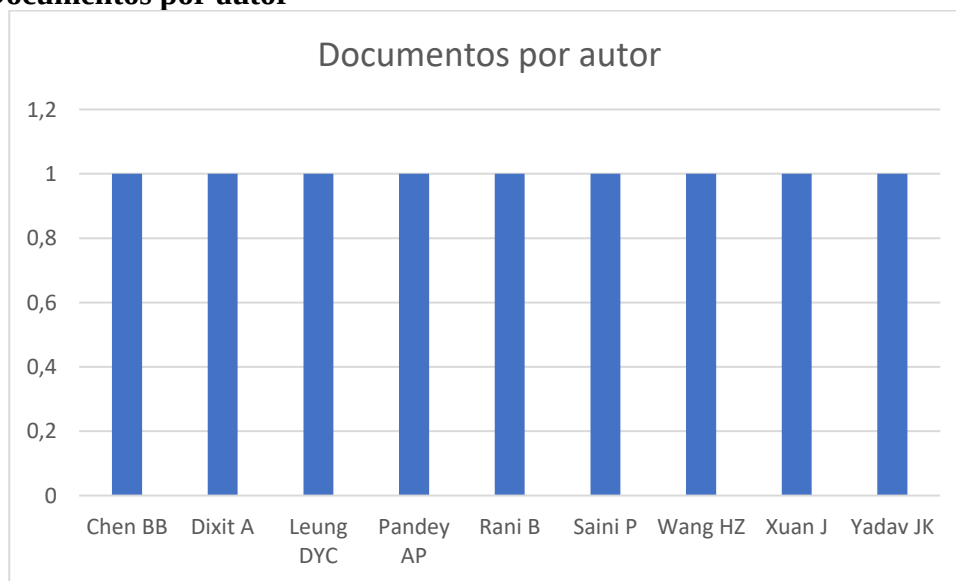


Ilustración 387: Documentos por autor

Los autores con publicaciones para esta investigación abarcan comunidades de corrosión, catalizadores aire y movilidad.

16.4. Documentos por categoría de WoS

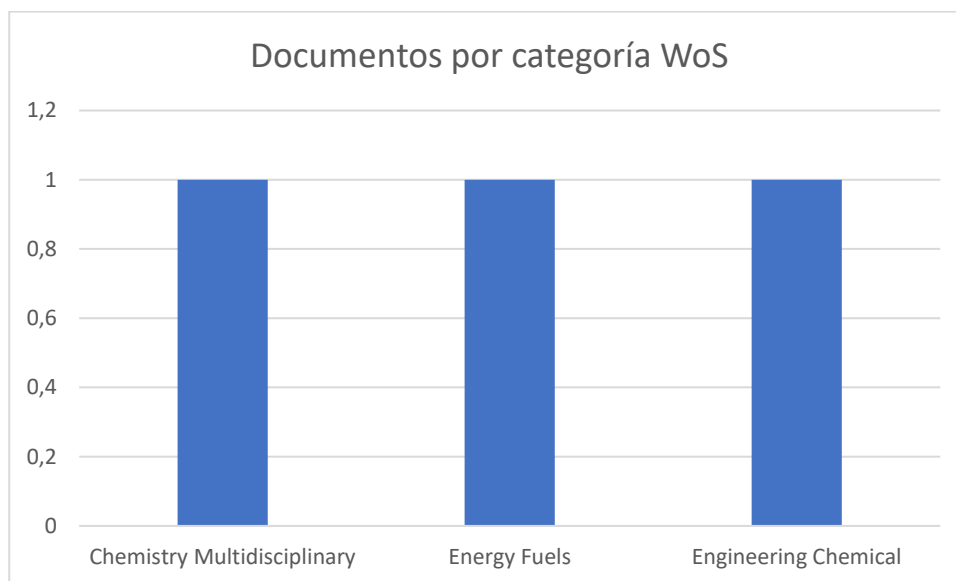


Ilustración 388: Documentos por categoría de WoS

La ilustración muestra que las categorías: Chemistry Multidisciplinary, Energy Fuels y Engineering Chemical muestran menos presencia en Automotive.

16.5. Documentos por afiliación institucional

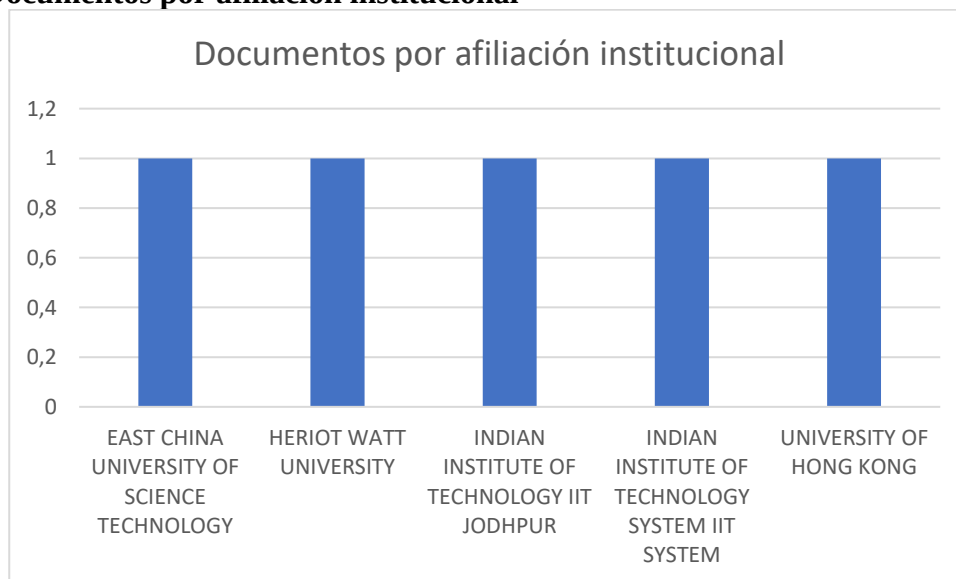


Ilustración 389: Documentos por afiliación institucional

Las afiliaciones institucionales mostradas en la ilustración son grupos con pilotaje y validación de cátodo aire.

16.6. Documentos por país o territorio

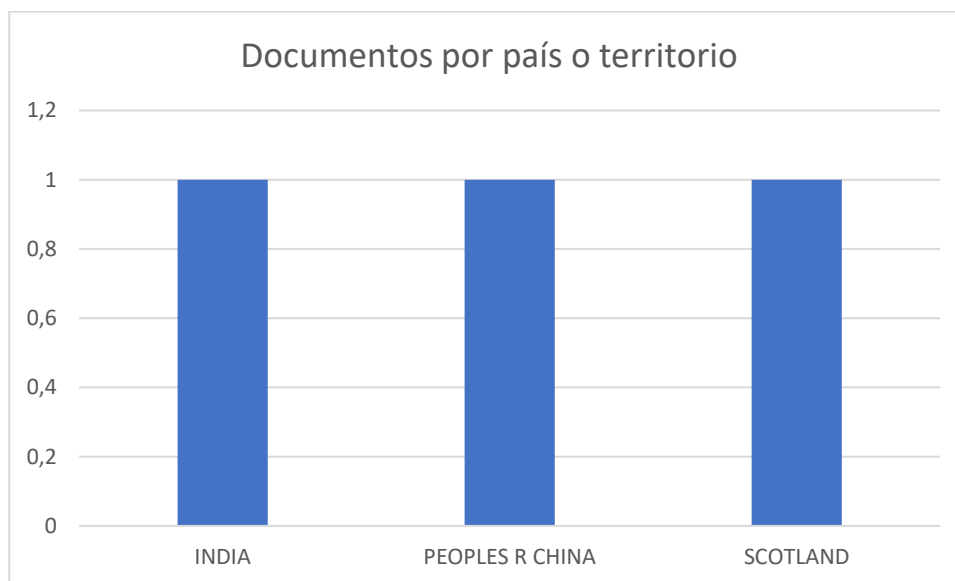


Ilustración 390: Documentos por país o territorio

En la ilustración los países India, China y Escocia se mantienen constante y con proyectos de nicho de baterías de aluminio, aire y movilidad.

16.7. Documentos por área temática

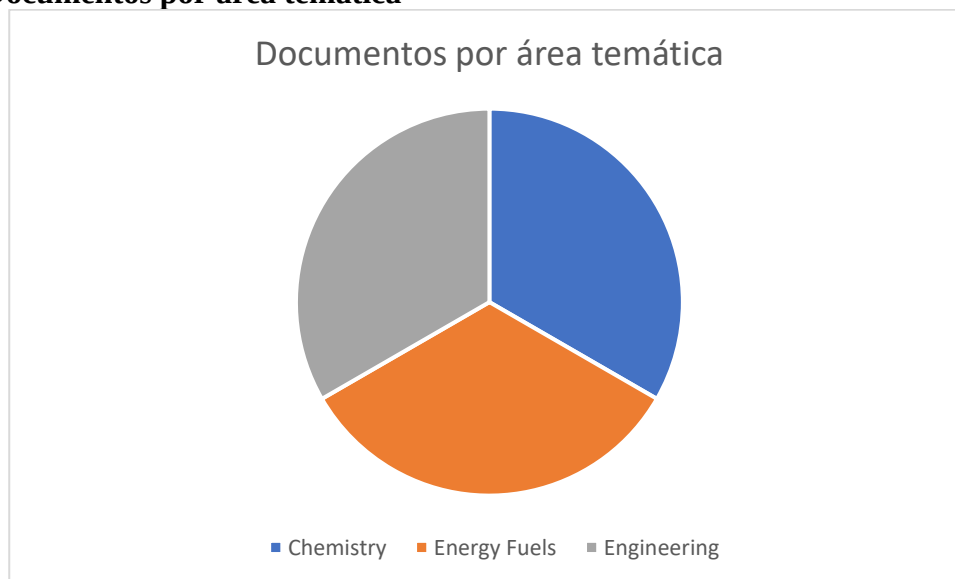


Ilustración 391: Documentos por área temática

Las áreas temáticas indicadas en la ilustración Chemistry, Energy Fuels y Engineering abarcan la cinética O₂, electrolitos y anticorrosión.

16.8. Documentos por agencias patrocinadoras

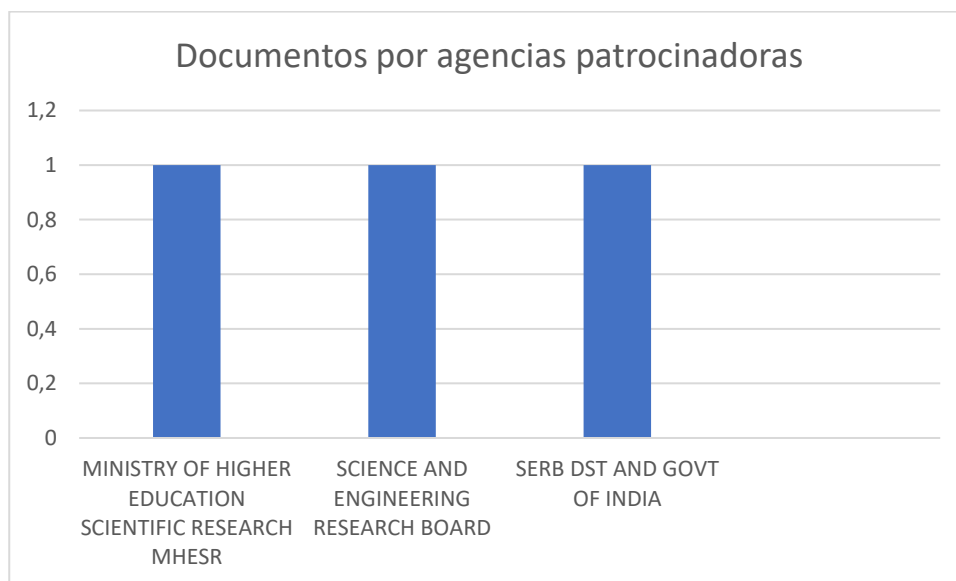


Ilustración 392: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración abordan la investigación de viabilidad y seguridad.

17. Fast charging AND Li-ion battery

17.1.Publicaciones por año



Ilustración 393: Publicaciones por año

En la ilustración se observa un crecimiento desde los inicios de publicación de documentos por adopción de infra DC y foco en C-rates altos.

17.2.Documentos por tipo

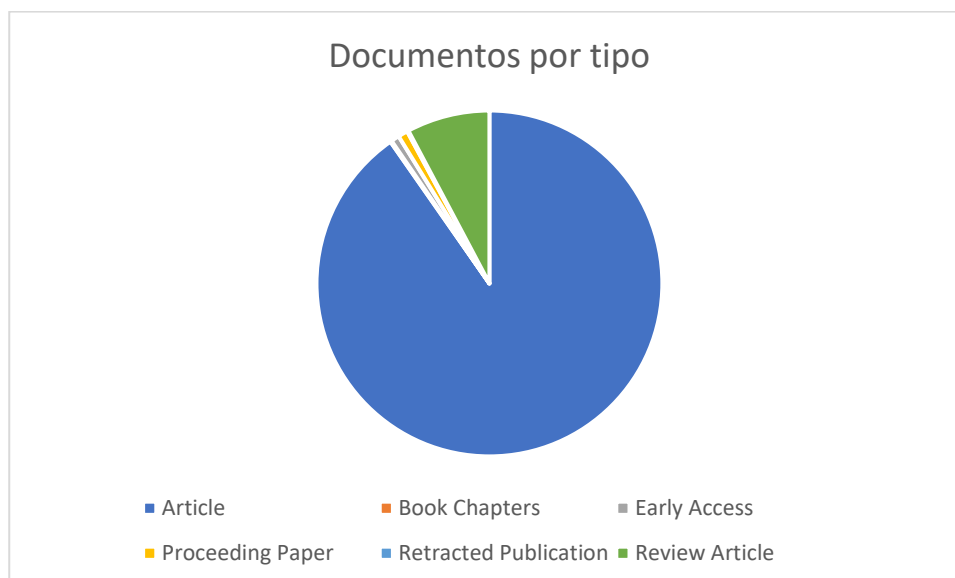


Ilustración 394: Documentos por tipo

La ilustración indica que el mayor número de documentos utilizados son artículos de protocolos multietapa, pulso y mapas térmicos, los reviews de trade-offs también tienen influencia en menor cantidad.

17.3. Documentos por autor

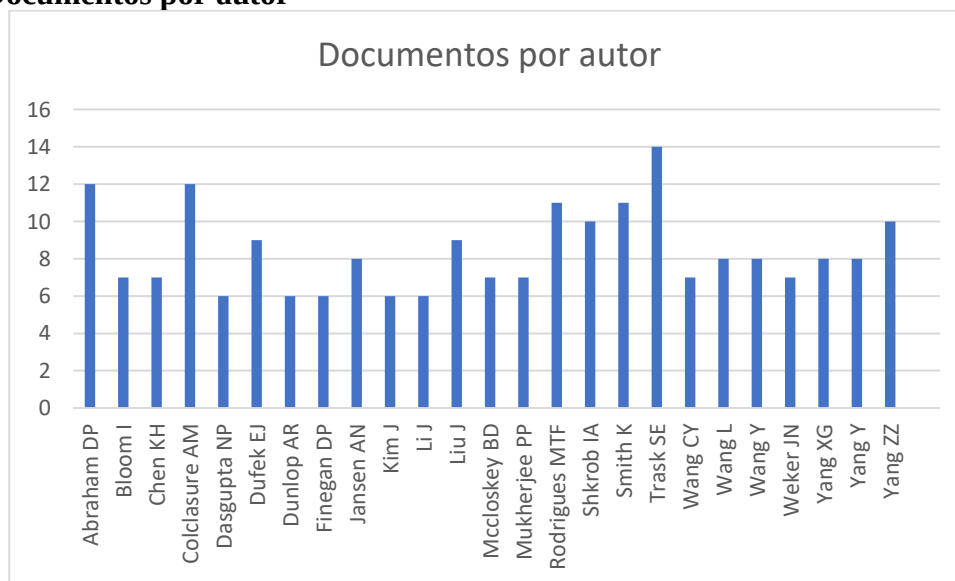


Ilustración 395: Documentos por autor

La ilustración muestra que los autores del tema de carga rápida y batería de iones de litio en equipos de diagnóstico (EIS), detección plating y control.

17.4. Documentos por categoría de WoS

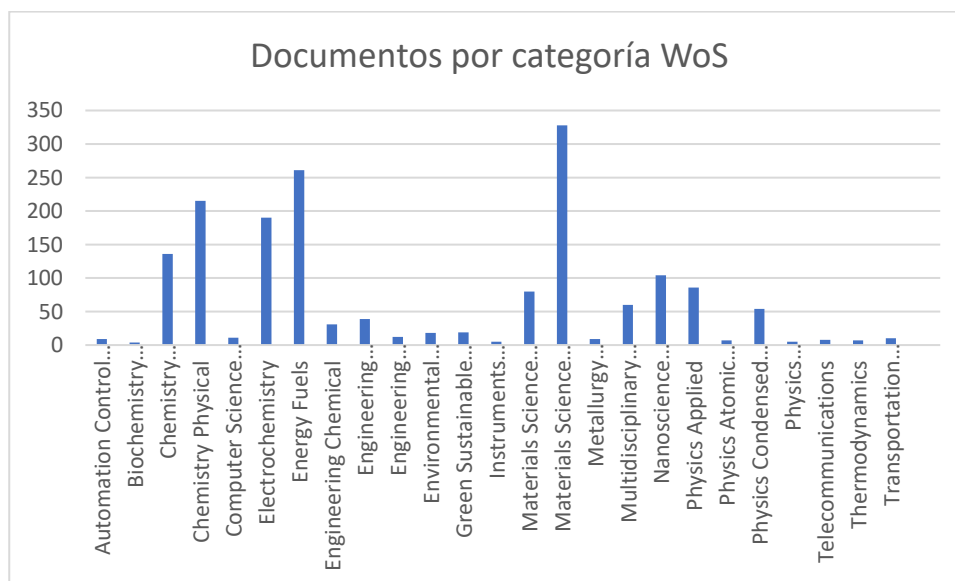


Ilustración 396: Documentos por categoría de WoS

Las categorías de Web of Science: Materials Science, Energy Fuels y Chemistry se acercan bastante a una clara tendencia en la carga rápida de baterías de Li-ion.

17.5. Documentos por afiliación institucional

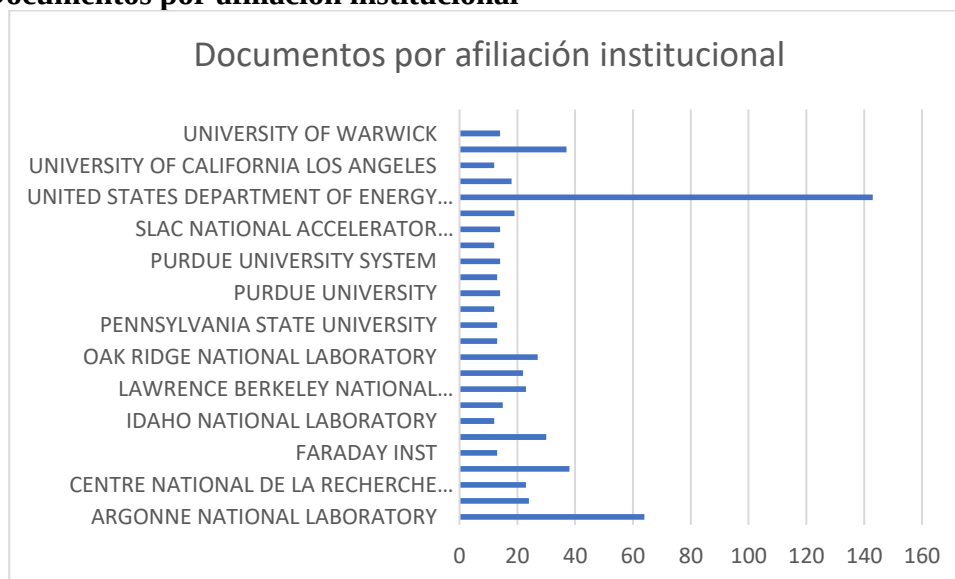


Ilustración 397: Documentos por afiliación institucional

Las instituciones con afiliación institucional que muestra la ilustración son centros con bancos de carga rápida y CFD.

17.6. Documentos por país o territorio

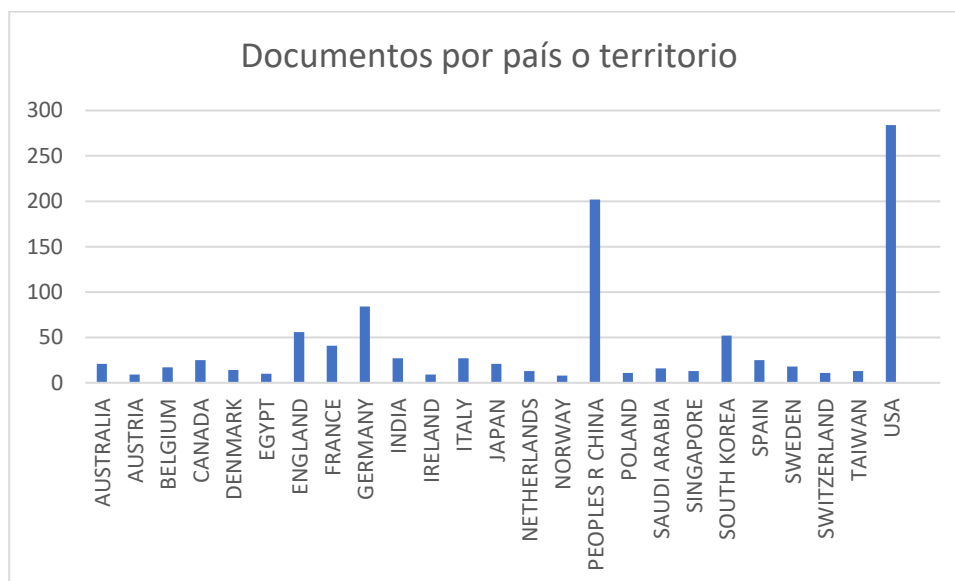


Ilustración 398: Documentos por país o territorio

La ilustración indica que USA, China y Alemania tienen una gran tendencia en la búsqueda de carga rápida y batería de iones de litio.

17.7. Documentos por área temática



Ilustración 399: Documentos por área temática

Las áreas temáticas mostradas en la ilustración Materials Science, Chemistry y Energy Fuels, utilizaron la mitigación de Li-plating, control térmico y SOH en fast charge.

17.8. Documentos por agencias patrocinadoras



Ilustración 400: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias mostradas en la ilustración tienen una prioridad gubernamental por seguridad e infraestructura.

18. Energy storage AND battery degradation

18.1.Publicaciones por año



Ilustración 401: Publicaciones por año

La ilustración muestra una curva creciente por despliegue ESS y atención a calendaraging, correspondientes a la degradación y almacenamiento de energía de la batería.

18.2.Documentos por tipo

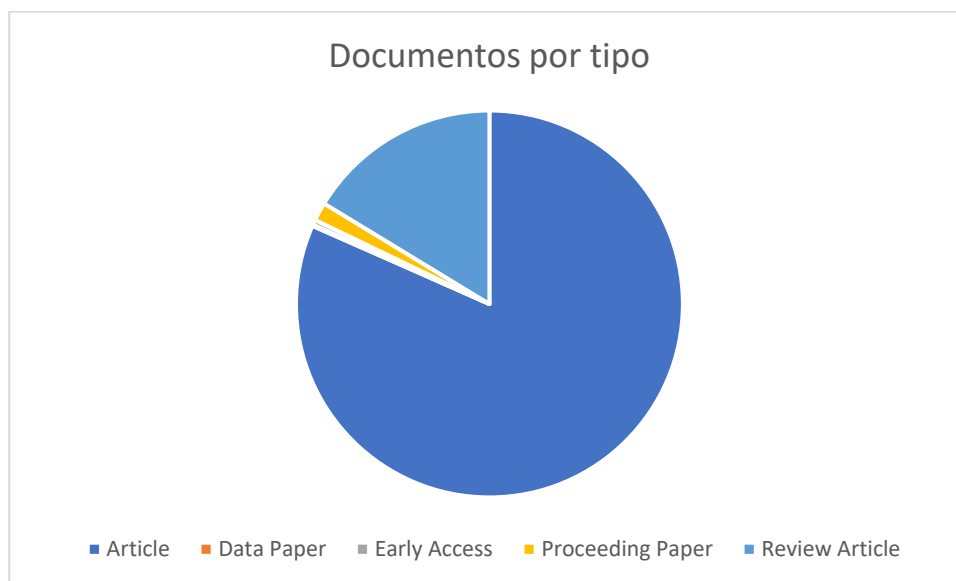


Ilustración 402: Documentos por tipo

La ilustración indica que en el tema de almacenamiento y degradación de energía de las baterías en su gran mayoría son artículos y reviews de degradación y digital twins.

18.3. Documentos por autor

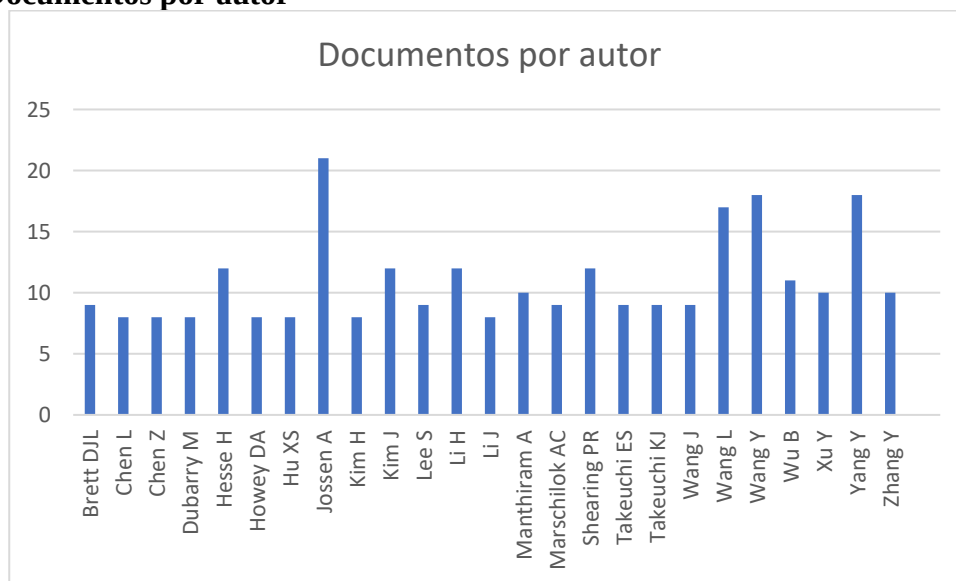


Ilustración 403: Documentos por autor

La ilustración muestra que los documentos más publicados son de grupos de pronóstico RUL y gestión de flotas de almacenamiento y degradación de energía de las baterías.

18.4. Documentos por categoría de WoS

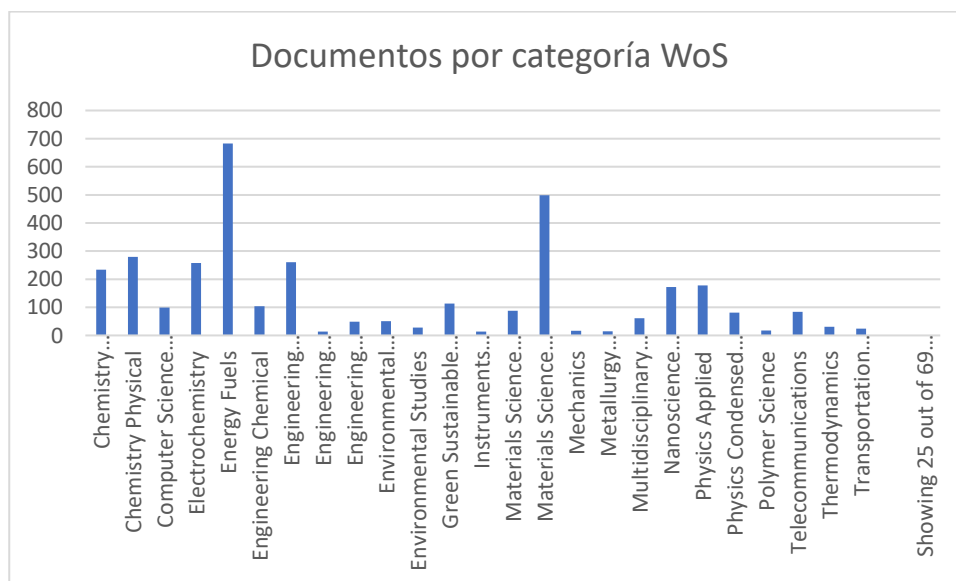


Ilustración 404: Documentos por categoría de WoS

La ilustración muestra que las categorías de Web of Science que más se utilizaron en el estudio de degradación y almacenamiento de energía de baterías son: Energy Fuels, Materials Science, Engineering y Electrochemistry.

18.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 405: Documentos por afiliación institucional

Los documentos por afiliación institucional mostrados en la ilustración son consorcios con utilities y OEMs

18.6. Documentos por país o territorio

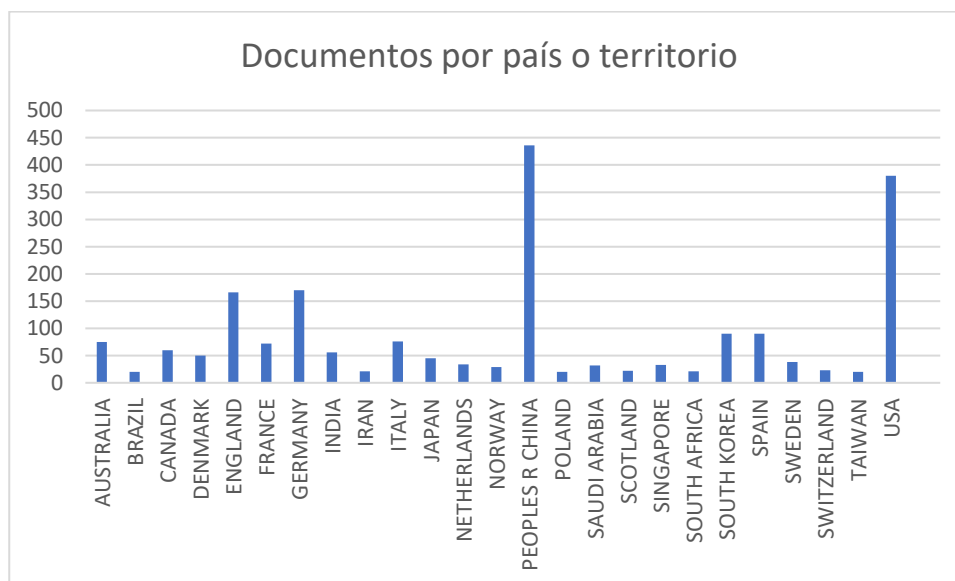


Ilustración 406: Documentos por país o territorio

La ilustración indica que China y EE. UU, lideran la investigación seguidos por la Unión Europea ya que tienen una correlación con despliegues.

18.7. Documentos por área temática

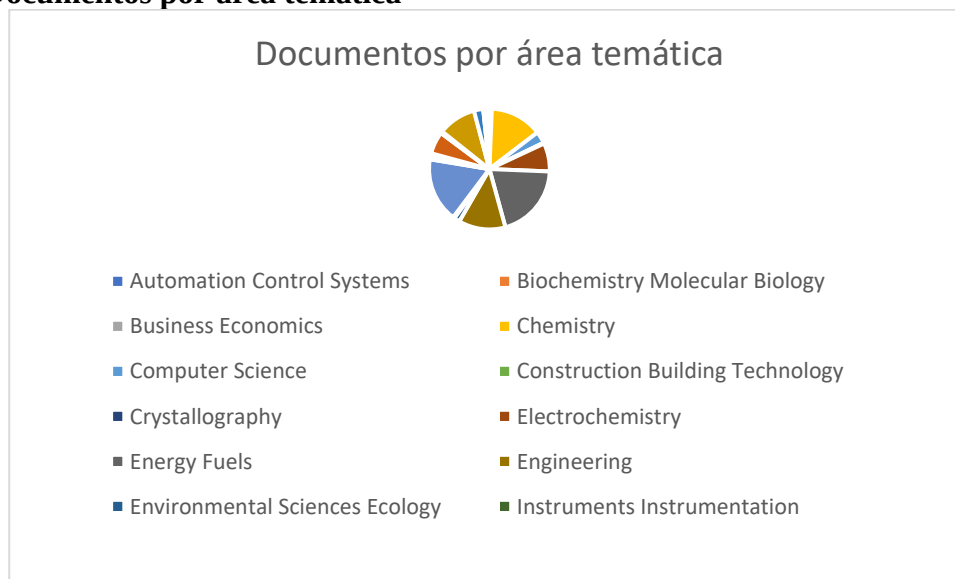


Ilustración 407: Documentos por área temática

Las áreas temáticas presentes en la ilustración Energy Fuels, Materials Science, Chemistry y Engineering con mapeos de estrés, uso real, y aprendizaje de flotas.

18.8. Documentos por agencias patrocinadoras



Ilustración 408: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración fueron escogidas porque muestran seguridad y fiabilidad de almacenamiento.

19. Commercial battery AND vehicle

19.1.Publicaciones por año



Ilustración 409: Publicaciones por año

La ilustración muestra que en la investigación de vehículos y baterías comerciales tiene una tendencia ascendente, asociada a escalado industrial.

19.2.Documentos por tipo

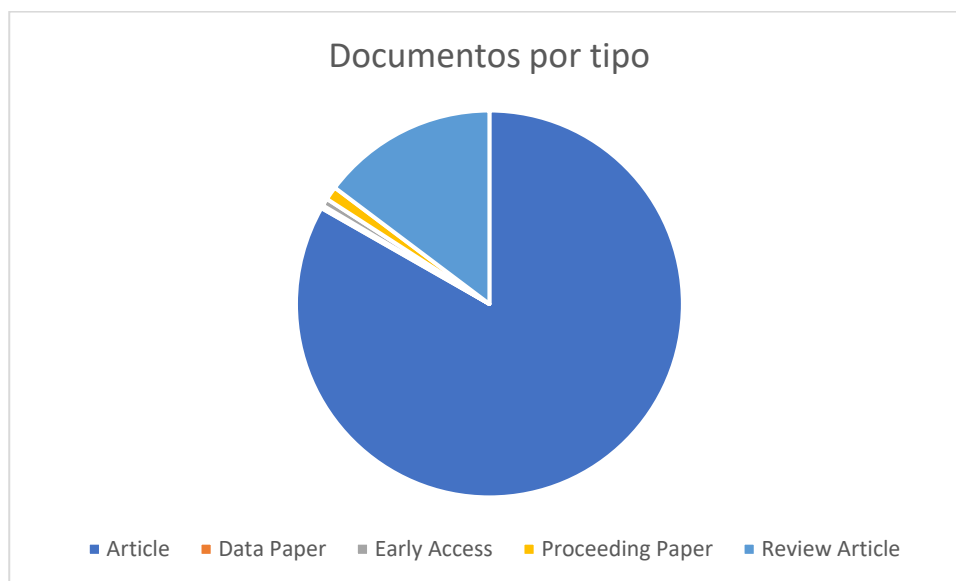


Ilustración 410: Documentos por tipo

La ilustración indica que en su mayoría los artículos de integración pack/vehículo, costo y confiabilidad, son los que más aparecen en la investigación seguidos por los reviews de baterías y vehículos comerciales.

19.3. Documentos por autor



Ilustración 411: Documentos por autor

La ilustración muestra a autores con coautoría en la industria.

19.4. Documentos por categoría de WoS

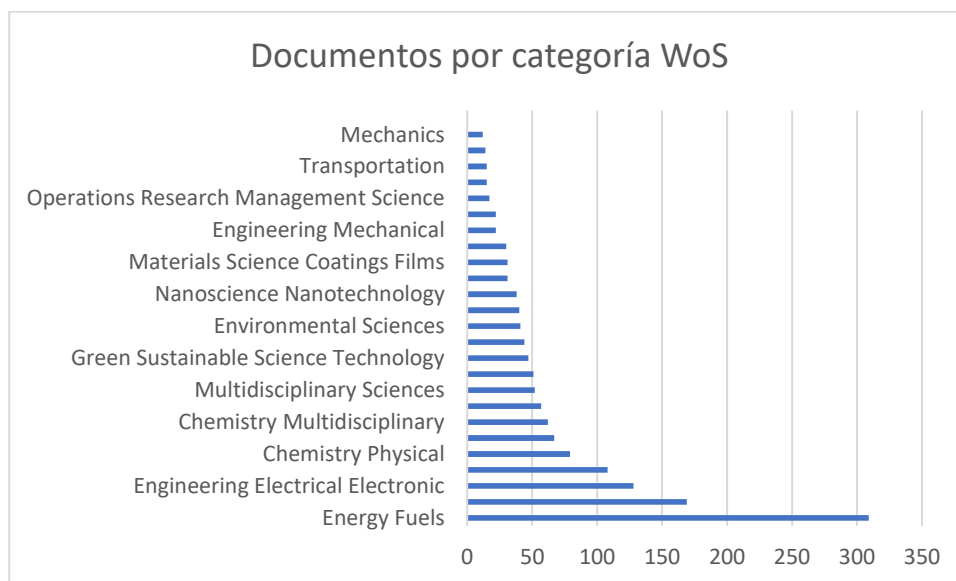


Ilustración 412: Documentos por categoría de WoS

La ilustración muestra que Energy Fuels, Engineering tienen un cruce con Multidisciplinary Sciences y Manufacturing.

19.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 413: Documentos por afiliación institucional

Las afiliaciones institucionales presentes en la investigación de vehículos y baterías comerciales son universidades con centros vehiculares.

19.6. Documentos por país o territorio

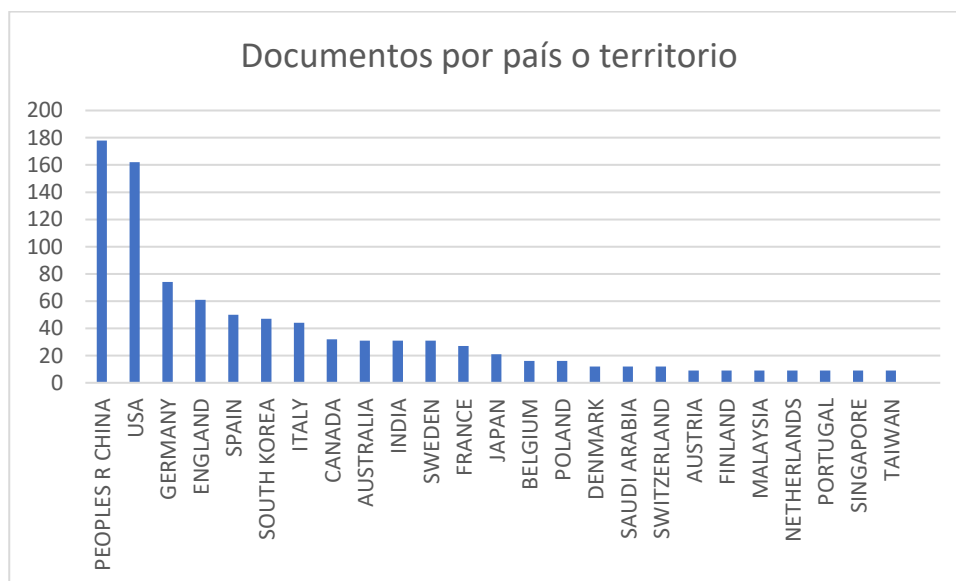


Ilustración 414: Documentos por país o territorio

La ilustración muestra que China y EE. UU, dominan la investigación ya que tienen un correlato con producción EV.

19.7. Documentos por área temática

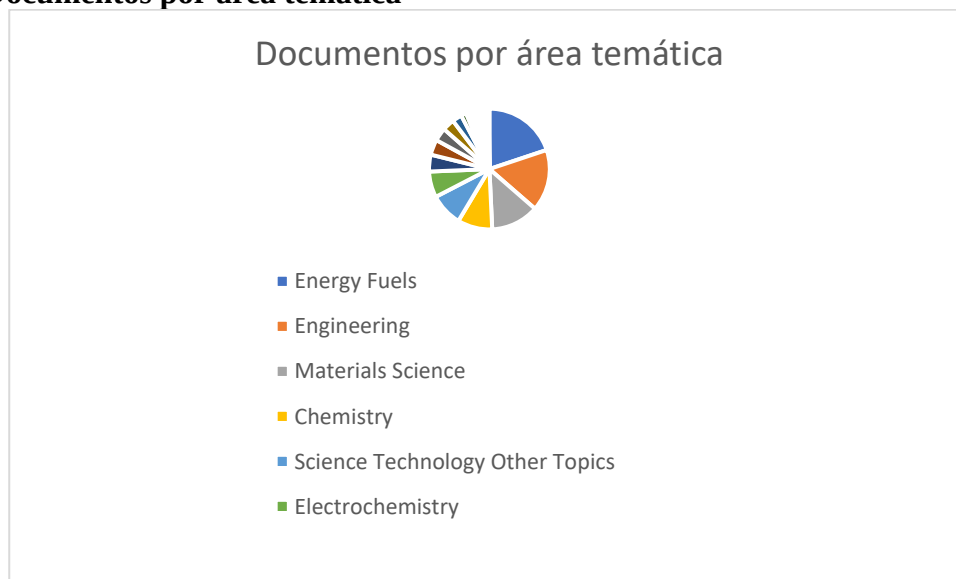


Ilustración 415: Documentos por área temática

Las áreas temáticas mostradas en la ilustración tienen arquitectura pack, BMS y calificación de las baterías y vehículos comerciales.

19.8. Documentos por agencias patrocinadoras

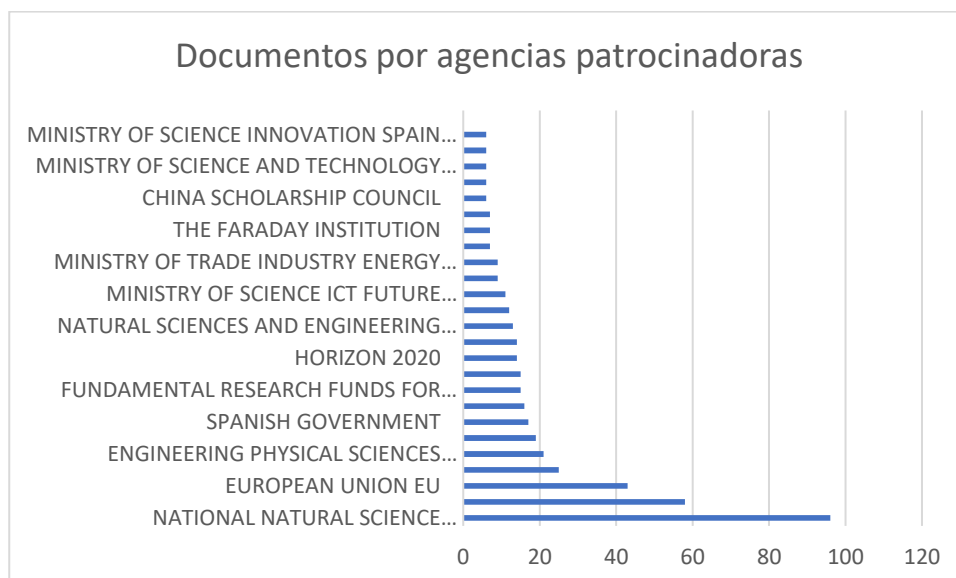


Ilustración 416: Documentos por agencias patrocinadoras

La ilustración indica que las agencias patrocinadoras son programas de industrialización y normativa.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

20.1. Publicaciones por año



Ilustración 417: Publicaciones por año

La ilustración muestra una serie en aumento a través de los años por estandarización y evaluación comparativa.

20.2. Documentos por tipo

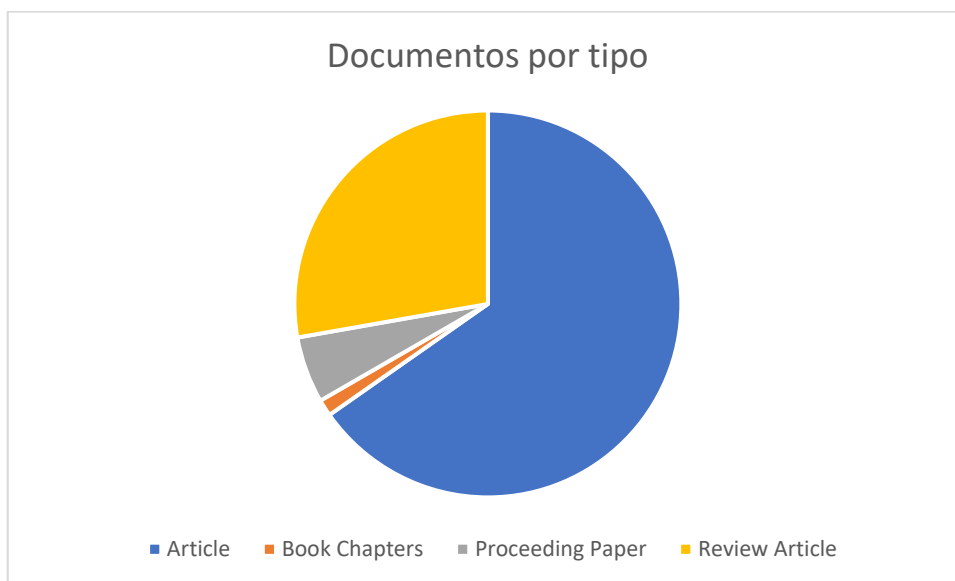


Ilustración 418: Documentos por tipo

Según la ilustración en la investigación de las características técnicas de las baterías de vehículos eléctricos están en pico los artículos y reviews que consolidan KPIs técnicos y metodologías de prueba.

20.3. Documentos por autor

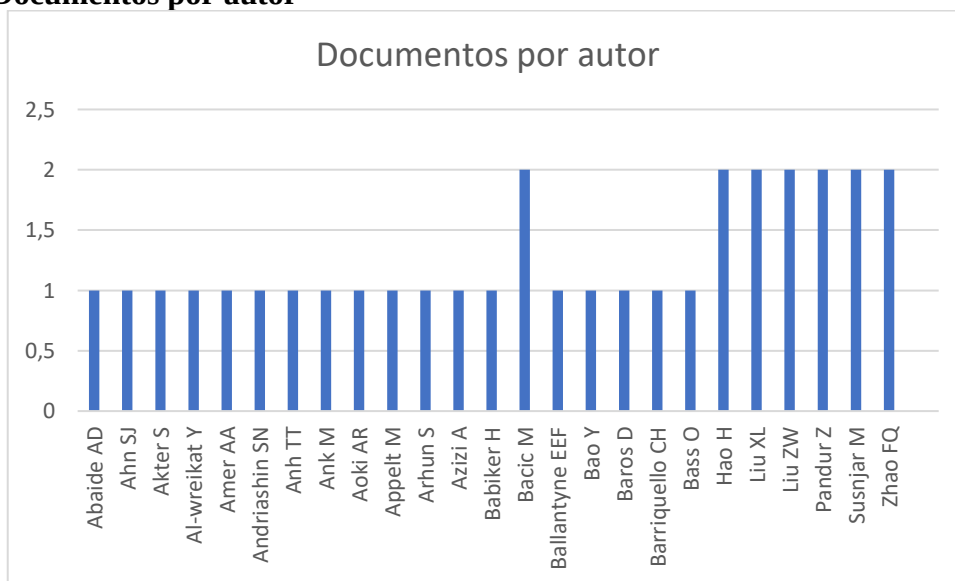


Ilustración 419: Documentos por autor

La ilustración muestra que los autores de la investigación muestran núcleos con visión holística celda/vehículo.

20.4. Documentos por categoría de WoS

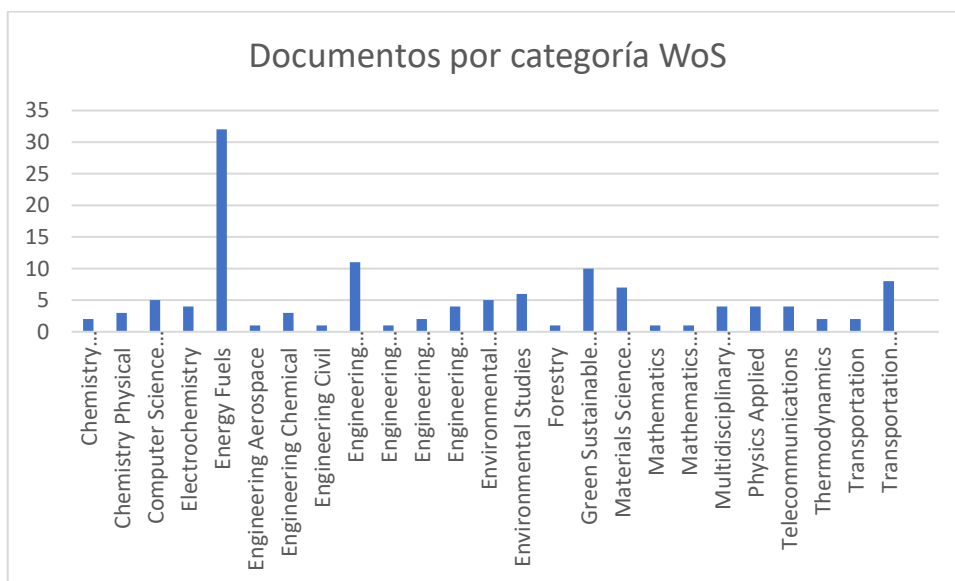


Ilustración 420: Documentos por categoría de WoS

La ilustración indica que las categorías de Web of Science: Energy Fuels, Engineering y Green Sustainable tienen una mirada multidisciplinar.

20.5. Documentos por afiliación institucional



Ilustración 421: Documentos por afiliación institucional

Las afiliaciones institucionales mostradas en la ilustración son instituciones con bancos integrales en rendimiento térmico, seguridad, ciclo.

20.6. Documentos por país o territorio

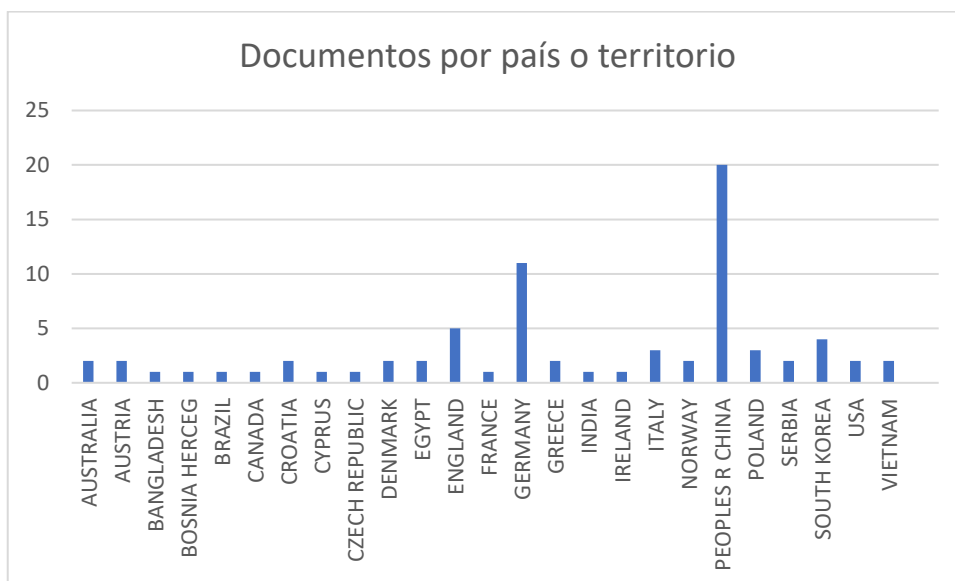


Ilustración 422: Documentos por país o territorio

La ilustración muestra que China y Alemania tienen un énfasis en KPIs comparables.

20.7. Documentos por área temática



Ilustración 423: Documentos por área temática

Las áreas temáticas mostradas en la ilustración indican matrices técnico-económicas y trade-offs de energía vs. seguridad vs. Coste.

20.8. Documentos por agencias patrocinadoras

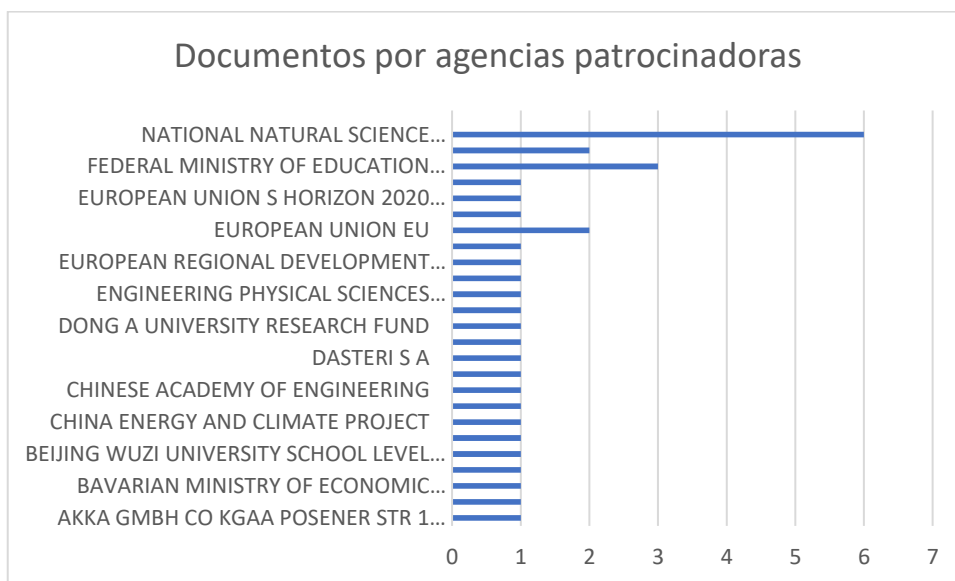


Ilustración 424: Documentos por agencias patrocinadoras

Las agencias patrocinadoras mostradas en la ilustración provienen a través de una financiación alineada a estándares y rendimiento.

Luego de sintetizar un análisis detallado de 20 equipos bibliométricos utilizados en la base de datos Web of Science, se identificaron tendencias claras que muestran el comportamiento general de la producción científica relacionada con las baterías comerciales y sus nuevas tecnologías para vehículos eléctricos.

La revisión de cada equipo permitió analizar de forma independiente y comparativa la dinámica de publicación en diferentes temas como: eficiencia energética, densidad energética, degradación, seguridad, gestión térmica, vida útil, reciclaje, costo y parámetros técnicos, que ofrecieron una visión completa y diversa del campo. Además, el análisis conjunto de las ocho categorías de WoS (publicaciones por año, tipo de documentos, autores, áreas temáticas, afiliaciones institucionales, distribución geográfica, sectores temáticos y agencias de financiamiento) permitió identificar patrones comunes, como:

- El liderazgo científico de Asia, Europa y Estados Unidos,
- La predominancia de áreas como Materiales, Energía y Combustibles, Electroquímica e Ingeniería,
- El papel creciente de organismos financiadores como NSFC, DOE y la Unión Europea,
- La madurez progresiva de líneas de investigación relacionadas con optimización del rendimiento, seguridad, reciclaje y tecnologías emergentes como las baterías de sodio, estado sólido o litio-azufre.

Con base en esta síntesis general, se presentan a continuación diversas tablas resumen que condensan los hallazgos más importantes de los 20 comandos analizados, facilitando la comparación, la identificación de patrones y la comprensión clara de la evolución científica en la base Web of Science.



4.2.1.1. Panorama general de los comandos en Web of Science

Posteriormente, fue analizado cada comando individualmente, y se muestra a continuación el panorama general de los 20 comandos en Web of Science, con el fin de resumir el comportamiento global de la producción recuperada. Esta tabla permite hacer a simple vista una comparación del volumen relativo de resultados, así como de la uniformidad temporal y representatividad de cada línea de búsqueda, proporcionando una visión macro que se utilizará como punto de partida para los análisis por país, enfoque temático y hallazgos transversales.

Tabla 15: Panorama general de los comandos en Web of Science

Nº	Comando de búsqueda	Tendencia de publicaciones	Enfoque predominante
1	Li-ion battery AND energy density	Crecimiento fuerte desde 2014	Densidad energética, materiales catódicos, arquitectura de celda
2	Lithium-ion batteries AND battery degradation	Picos recientes 2018–2024	Mecanismos de degradación, SOH, RUL
3	Li-ion battery AND safety	Aceleración desde 2017	Thermal runaway, materiales seguros
4	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Tendencia estable/decreciente	Baterías NiMH en HEV
5	Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Crecimiento fuerte desde 2020	Eficiencia de LFP, ciclo y seguridad
6	Solid-state battery AND commercialization	Crecimiento acelerado post-2018	Electrolitos sólidos, escalado
7	Sodium-ion battery AND performance	Crecimiento desde 2016	Cátodos P2/O3, anodos HC
8	Hybrid battery AND lifetime	Moderado y variable	Arquitecturas híbridas, durabilidad
9	Battery efficiency AND charging	Incremento sostenido	Algoritmos y eficiencia de carga
10	Battery lifespan AND Li-ion	Crecimiento constante	Vida útil, degradación calendar/cycle



11	Battery thermal management AND vehicle	Fuerte crecimiento	CFD, gestión térmica, refrigeración
12	Battery safety AND thermal runaway	Crecimiento muy rápido	Prevención runaway, barreras térmicas
13	Battery cost AND electric vehicles	Aumento sostenido	Costos por kWh, supply-chain
14	Battery recycling AND lithium-ion	Crecimiento acelerado	Recuperación de Li/Co/Ni
15	Lithium-sulfur battery AND applications	Alta tendencia desde 2015	Materiales S, mitigación shuttle
16	Aluminum-air battery AND mobility	Volumen bajo pero estable	Celdas Al-aire, catalizadores
17	Fast charging AND Li-ion battery	Fuerte crecimiento	Carga rápida, mitigación plating
18	Energy storage AND battery degradation	Tendencia en ascenso	ESS, degradación calendar
19	Commercial battery AND vehicle	Crecimiento sostenido	Integración pack-vehículo
20	EV battery AND technical characteristics	Aumento estable	KPIs técnicos: energía, seguridad, coste

4.2.1.2.Principales países, instituciones y categorías WoS por comando

A continuación, se presenta la tabla de principales países, con el objetivo de mostrar qué territorios concentraron un mayor volumen de producción científica por comando y cómo se reparte esta participación entre tecnologías consolidadas y emergentes. Esta interpretación es fundamental para explicar la regionalización de la especialización, patrones de colaboración, y de ser así, posibles vinculaciones entre liderazgo científico y desarrollo industrial en baterías para movilidad eléctrica.

Tabla 16: Resumen de patrones bibliométricos por comando

Comando	Países líderes	Instituciones destacadas	Categorías WoS predominantes
1	China, EE.UU., Alemania	CAS, MIT, Tsinghua	Materials Science, Energy Fuels



2	China, EE.UU., Corea	CAS, Stanford, KAIST	Electrochemistry, Automation
3	China, Alemania, EE.UU.	Tsinghua, TU Munich	Safety Engineering, Thermodynamics
4	Japón, EE.UU., UE	Toyota Labs	Electrochemistry
5	China, EE.UU.	CATL research partners	Materials, Energy
6	China, EE.UU., Corea	Samsung, Solid Power	Materials, Manufacturing
7	China, UE, EE.UU.	INL, CAS	Materials, Green Science
8	China, EE.UU.	NREL, Tsinghua	Electronics, Energy
9	China, EE.UU., UE	NREL, CAS	Electrical Engineering
10	China, EE.UU.	Stanford, MIT	Automation, Electrochemistry
11	China, Alemania	TU Munich, CAS	Heat Transfer, Engineering
12	China, EE.UU., Japón	CAS, NREL	Safety, Thermochemistry
13	EE.UU., UE, China	EU JRC, MIT	Energy Economics
14	UE, China, EE.UU.	CIC energigUNE, CAS	Green Chemistry, Recycling
15	China, EE.UU.	Rice University, CAS	Chemistry, Materials
16	Israel, UE, China	Technion	Electrochemistry
17	China, EE.UU., Corea	KAIST, CAS	Energy, Control Systems
18	China, EE. UU., UE	NREL, utilities	Energy Storage
19	China, EE.UU., UE	OEM labs	Automotive Engineering



20	China, EE. UU., UE	MIT, Tsinghua	Multidisciplinaria: Energy/Engineering

4.2.1.3. Enfoques temáticos predominantes por comando

Luego se muestra la tabla de enfoques temáticos predominantes, donde se condensan las áreas y tópicos recurrentes relacionados a cada comando. Esta tabla permite ver a qué problemas se dedican mayormente los científicos enfocándose en el deterioro, seguridad térmica, carga rápida, gestión térmica, costo, reciclaje, materiales activos, etc; y cómo cambian los énfasis según la tecnología analizada, dando así una visión acerca de la orientación del conocimiento generado en Web of Science.

Tabla 17: Enfoque temático por comando

Nº	Comando	Temas centrales en WoS
1	Li-ion + energy density	Optimización de cátodos/ánodos; energía gravimétrica/volumétrica
2	Li-ion + degradation	Degradación SEI, plating, RUL, SOH
3	Li-ion + safety	Runaway, tests de abuso, mitigación térmica
4	NiMH + EV	Ciclo, hidruros metálicos, estabilidad
5	LFP + efficiency	Conducción/electrolito, eficiencia térmica
6	Solid-state commercialization +	Electrolitos sólidos, escalabilidad
7	Sodium-ion + performance	Cinética Na ⁺ , estabilidad, materiales económicos
8	Hybrid battery + lifetime	Sistemas híbridos y vida útil extendida
9	Efficiency + charging	Estrategias de carga eficiente
10	Lifespan + Li-ion	Degradación por uso real
11	Thermal management + vehicle	Gestión térmica, CFD
12	Safety + thermal runaway	Prevención runaway, sensores
13	Cost + EV	Costos por kWh, supply chain
14	Recycling + Li-ion	Hidrometalurgia y circularidad
15	Li-S + applications	Mitigación shuttle, alta energía



16	AI-air + mobility	Celdas primarias, catalizadores
17	Fast charging + Li-ion	Carga rápida segura
18	Storage + degradation	Envejecimiento en ESS
19	Commercial battery + vehicle	Integración pack-vehículo
20	EV battery + technical characteristics	KPIs: energía, potencia, seguridad

4.2.1.4.Principales hallazgos transversales de WoS

A continuación, se presenta la tabla de principales conclusiones transversales con la intención de consolidar los patrones reiterativos encontrados en todo el conjunto de los 20 comandos con tendencias comunes, temas críticos, tecnologías dominantes y vacíos investigativos. Esta síntesis ofrece una comparación interpretativa de WoS que une el “qué se publica” con el “qué significa” bajo las prioridades científicas y desafíos tecnológicos para baterías comerciales en vehículos eléctricos.

Tabla 18: Hallazgos transversales de la base Web of Science

Dimensión	Hallazgos generales
Productividad científica	China lidera en número de publicaciones para casi todos los comandos.
Institucionalidad	CAS, Tsinghua, MIT, Stanford, KAIST son los nodos principales.
Categorías WoS	Predominan Materials Science, Energy & Fuels, Electrochemistry.
Temas emergentes	Estado sólido, Na-ion, Li-S, fast charging, reciclaje avanzado.
Relevancia para EV	Tendencias alineadas con eficiencia, seguridad, costo y ciclo de vida.
Financiamiento	NSFC, DOE, EU-Horizon son los principales patrocinadores.

4.2.1.5.Resumen comparativo de los 20 comandos aplicados en Web of Science

Por último, se presenta una visión general comparativa de los 20 comandos, donde se combinan en una única estructura la tendencia de publicación, la temática y los principales resultados por comando. Esta tabla permite finalizar el bloque de WoS con una lectura conjunta y rastreable entre los diferentes instrumentos, haciendo evidente la comparación directa entre tecnologías y poniendo de manifiesto cuáles líneas muestran madurez, cuáles



continúan como nichos, y cuáles presentan crecimiento reciente relacionado a tendencias emergentes.

Tabla 19: Resumen general de comandos, publicaciones y hallazgos en Web of Science

Nº	Comando aplicado en WoS	Tendencia de publicaciones	Enfoque temático predominante	Hallazgos clave
1	Li-ion battery AND energy density	Crecimiento sostenido desde 2014; pico 2020–2024	Materiales, energía específica, diseño celda-pack	Avances en densidad energética; liderazgo asiático
2	Lithium-ion batteries AND battery degradation	Incremento marcado desde 2017	Degradación calendar/cycle, diagnóstico	Importancia del plating y modelos híbridos
3	Li-ion battery AND safety	Aumento posterior a 2017	Seguridad térmica, runaway	Interés en separación térmica y mitigación
4	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Estabilidad y ligera caída post-2014	Químicas NiMH, HEV	Relevancia histórica; menor presencia actual
5	Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Crecimiento acelerado desde 2020	LFP, eficiencia térmica y ciclabilidad	Expansión por costo, seguridad y durabilidad
6	Solid-state battery AND commercialization	Ascenso pronunciado desde 2018	Electrolitos sólidos, Li-metal	Progreso hacia TRL medio; barreras mecánicas
7	Sodium-ion battery AND performance	Crecimiento 2016–2024	Catodos P2/O3, anodos duros carbonosos	Alternativa estratégica a Li-ion
8	Hybrid battery AND lifetime	Crecimiento moderado	Arquitecturas híbridas y HEV	Optimización de ciclo y gestión de potencia



9	Battery efficiency AND charging	Tendencia creciente	Eficiencia térmica, perfiles de carga	Desarrollo de algoritmos de carga eficiente
10	Battery lifespan AND Li-ion	Incremento constante	RUL/SOH, degradación integral	Relevancia para garantías y segunda vida
11	Battery thermal management AND vehicle	Crecimiento fuerte por seguridad	Refrigeración líquida/placas/CFD	Control térmico como eje crítico en EV
12	Battery safety AND thermal runaway	Fuerte aumento	Runaway, contención y prevención	Ensayos de abuso y simulación avanzada
13	Battery cost AND electric vehicles	Crecimiento por demanda EV	Análisis TEA/LCA	Costos ligados a materiales críticos
14	Battery recycling AND lithium-ion	Ascenso notable	Hidrometalurgia y recuperación	Impulso regulatorio y economía circular
15	Lithium-sulfur battery AND applications	Tendencia ascendente	Catodos confinados, Li-metal	Mitigación del shuttle como enfoque crítico
16	Aluminum-air battery AND mobility	Bajo volumen, pero estable	Cinética O_2 , corrosión	Aplicación de nicho y prototipos
17	Fast charging AND Li-ion battery	Aumento sostenido	Carga rápida, control térmico	Protocolos multietapa y detección de plating
18	Energy storage AND battery degradation	Incremento global	ESS, degradación calendar	Creciente interés en vida útil de ESS
19	Commercial battery AND vehicle	Crecimiento fuerte	Packs comerciales, integración EV	Estudio de plataformas vehiculares



20	Electric vehicle battery technical characteristics AND	Aumento constante	KPIs técnicos, benchmarking	Consolidación de métricas y estándares

4.2.2. Análisis en VOSviewer

Tras llevar a cabo el análisis cuantitativo de los resultados recogidos en Web of Science a través de tablas y gráficos elaborados con Excel, este estudio se complementa con un análisis visual en VOSviewer a partir de los archivos exportados con formato .ris. Este análisis revela conexiones temáticas clave, grupos de investigación y estructuras intelectuales entre la producción científica de baterías comerciales para vehículos eléctricos. Para cada uno de los 20 equipos bibliométricos, se crearon mapas en torno a los siguientes cinco tipos de redes: coautoría, coexistencia de términos, citación, vinculación bibliográfica y cocitación. Estas visualizaciones permiten reconocer patrones de colaboración, madurez temática, impacto de los documentales, consolidación de escuelas de investigación y nuevas líneas.

A continuación, se presenta una explicación concisa de los cinco tipos de mapas, y es seguido por el análisis integrado sobre los patrones que surgen a partir de Web of Science.

1. Li-ion battery AND energy density

1.1.Co-authorship

keyser, matthew

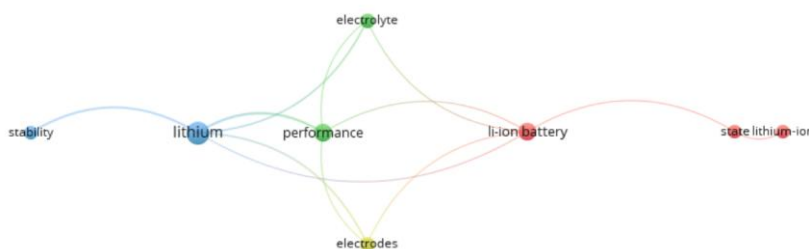
belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 425: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density

1.2.Co-occurrence



La figura muestra que el grupo principal está relacionado con la densidad de energía, los iones de litio, los cátodos y los materiales de alta energía. El término densidad indica que esta es una de las áreas de investigación más avanzadas y estratégicas.

1.3.Citation

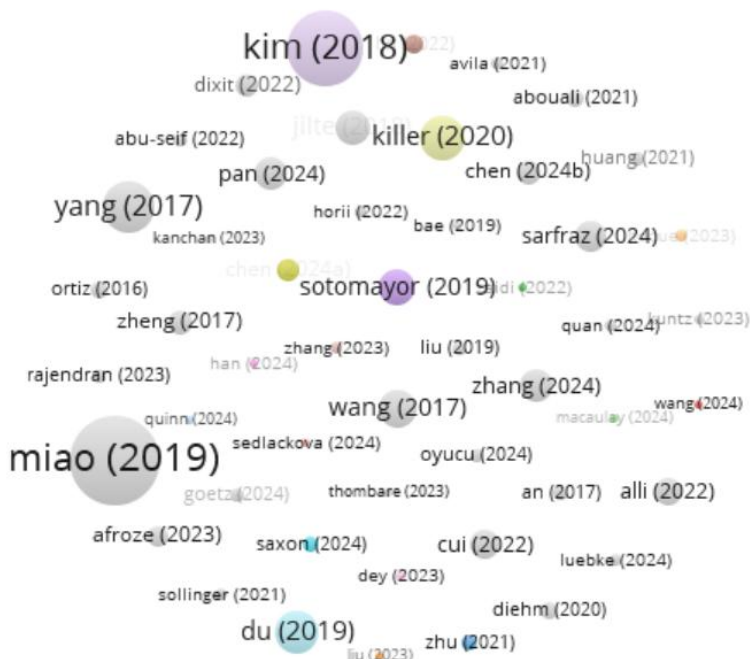


Ilustración 427: Tarjeta de referencia de batería de iones de litio Y comando de densidad de energía



El mapa enumera documentos clave con más de 300 citas en el conjunto. Existe una columna vertebral de artículos clásicos sobre NMC, LCO y LFP.

1.4. Bibliographic coupling

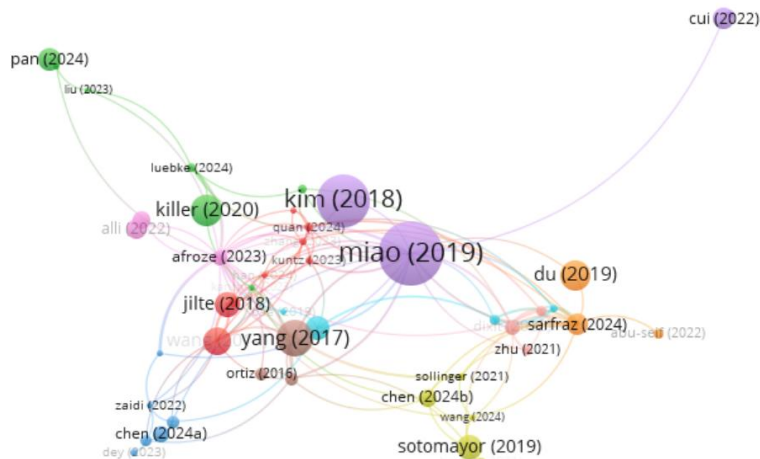


Ilustración 428: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio Y comando de densidad de energía

El mapa muestra un alto nivel de acuerdo de referencia, lo que indica coherencia metodológica, en los estudios que investigan la densidad energética.

1.5. Co-citation



Ilustración 429: Mapa de cocitación de baterías de iones de litio Y comando de densidad de energía

El mapa muestra que se han establecido escuelas de electroquímica, principalmente Goodenough, Tarascon, Xu.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

2.1. Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 430: Mapa de coautoría para el comando *Lithium-ion batteries AND battery degradation*

La ilustración presenta grandes nodos, pero más dispersos, refleja varias perspectivas de degradación química, mecánica y térmica.

2.2.Co-occurrence

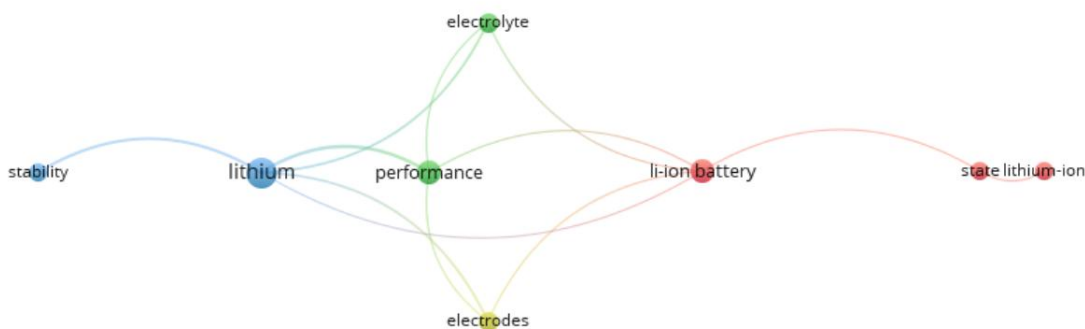


Ilustración 431: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando *Lithium-ion batteries AND battery degradation*

La red muestra palabras clave relacionadas con: crecimiento del SEI, degradación de la capacidad, ciclismo, envejecimiento. Muestra que el problema estructural sigue siendo grave.

2.3.Citation

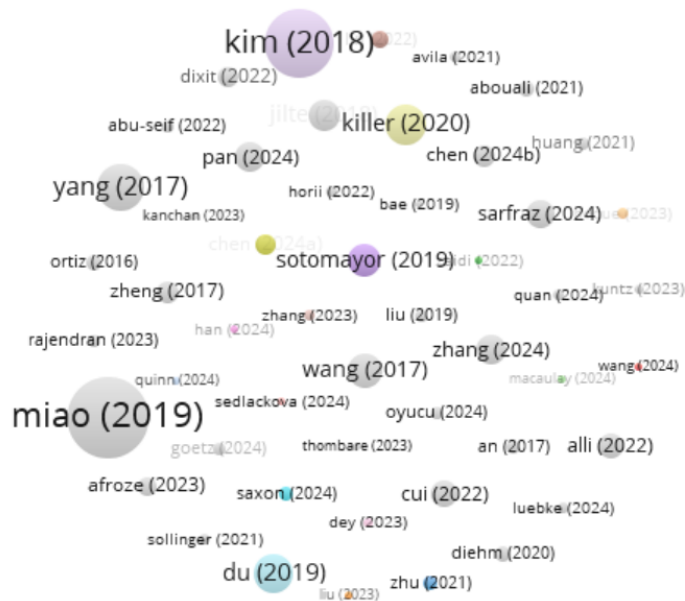


Ilustración 432: Mapa de citación para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation

El mapa demuestra que hay artículos con numerosas citas, modelos SEI, análisis térmico, que señalan una sólida base teórica.

2.4. Bibliographic coupling

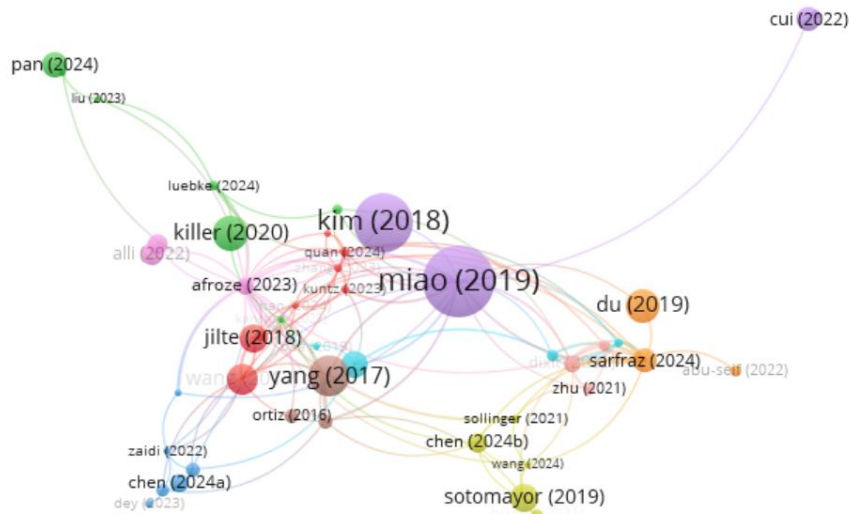


Ilustración 433: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation

La red indica clústeres intensos se agrupaban entre artículos compartiendo referencias sobre degradación cíclica por.

2.5.Co-citation



Ilustración 434: Mapa de cocitación para el comando *Lithium-ion batteries AND battery degradation*

De la ilustración se puede distinguir dos grandes corrientes de pensamiento:

- Desgaste electroquímico
- Modelado por computadora.

3. Li-ion battery AND safety

3.1.Co-authorship



Ilustración 435: Mapa de contribuyentes para la batería de iones de litio y el equipo de seguridad

Este mapa muestra una red amplia y difusa que está bien fragmentada, con varios grupos independientes que estudian el craqueo térmico y los materiales estables.

3.2.Co-occurrence

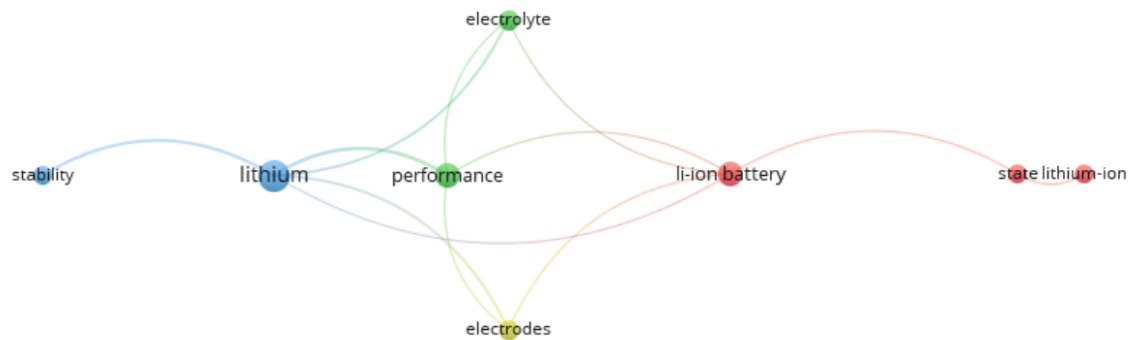


Ilustración 436: Mapa de CC de términos de comando de seguridad Y batería de iones de litio

El mapa revela una importante falta de control térmico, sobrecalentamiento y análisis.

3.3.Citation

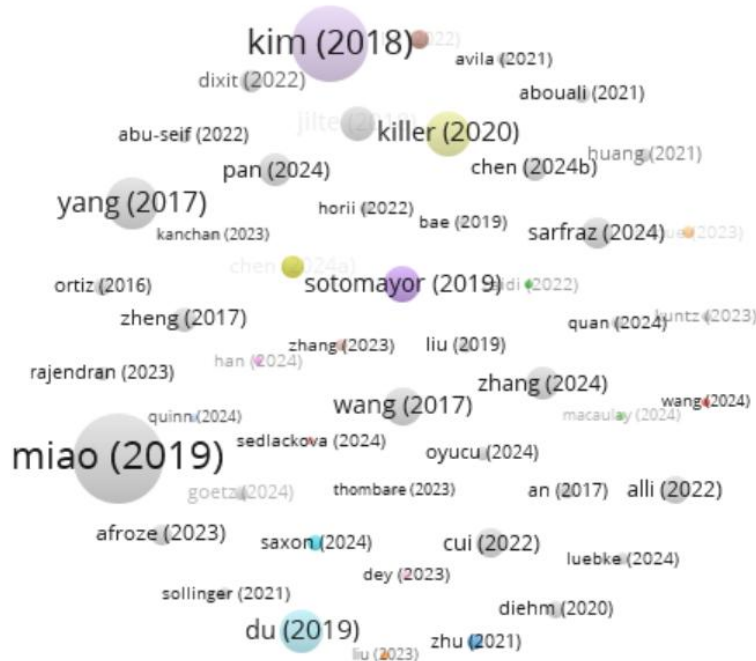


Ilustración 437: Mapa de referencia de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad.

El mapa enumera artículos importantes sobre incendios celulares y mecanismos de seguridad.

3.4.Bibliographic coupling

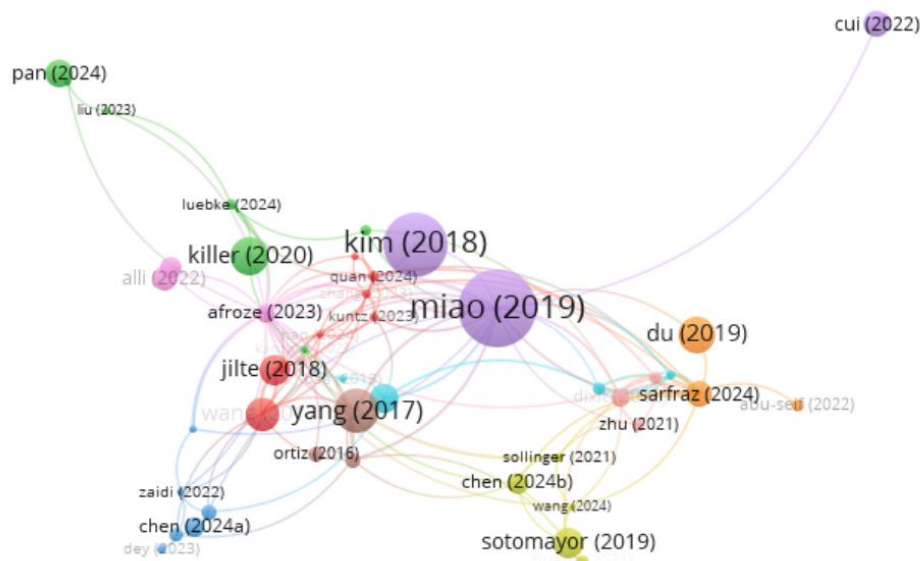


Ilustración 438: Diagrama de cableado bibliográfico de la batería de iones de litio y del equipo de seguridad

El mapa muestra una fuerte concordancia entre los estudios de análisis térmico y las pruebas destructivas.

3.5.Co-citation



Ilustración 439: Mapa de cocitación para el comando Li-ion battery AND safety

En la ilustración se observa relatos en primer lugar, la mayoría de los autores eran expertos que trabajaban en el estudio del diseño de escape térmico y seguro de baterías.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

4.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 440: Mapa de coautoría para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

La ilustración muestra una red muy reducida ya que apenas existen grupos de investigación activos.

4.2.Co-occurrence

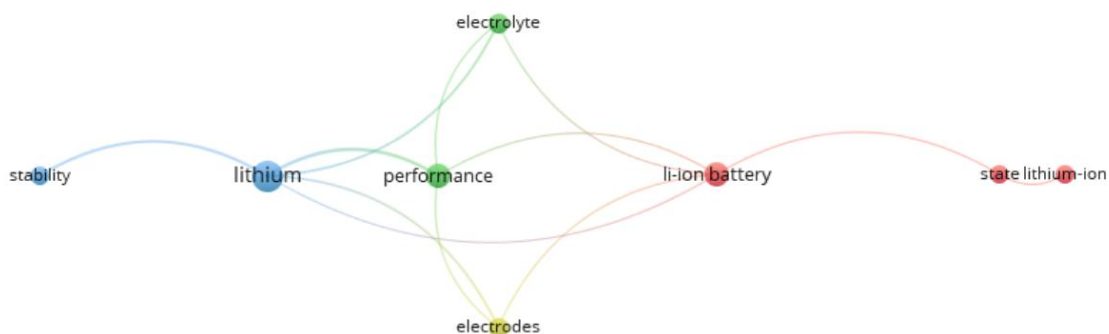


Ilustración 441: Mapa conceptual del equipo de batería de hidruro metálico de níquel y vehículo eléctrico

La red revela algunos términos limitados: NiMH, coches híbridos, primeros coches eléctricos. Un campo casi inexistente.

4.3.Citation

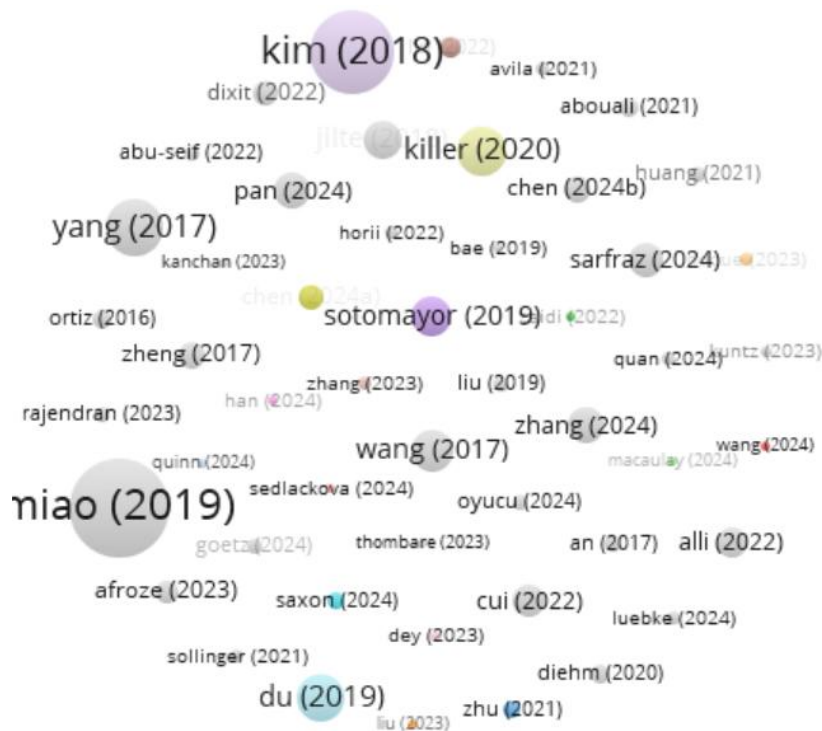


Ilustración 442: Mapa de citación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

El mapa demuestra muy bajo impacto: la mayoría de los artículos no influyen demasiado.

4.4. Bibliographic coupling

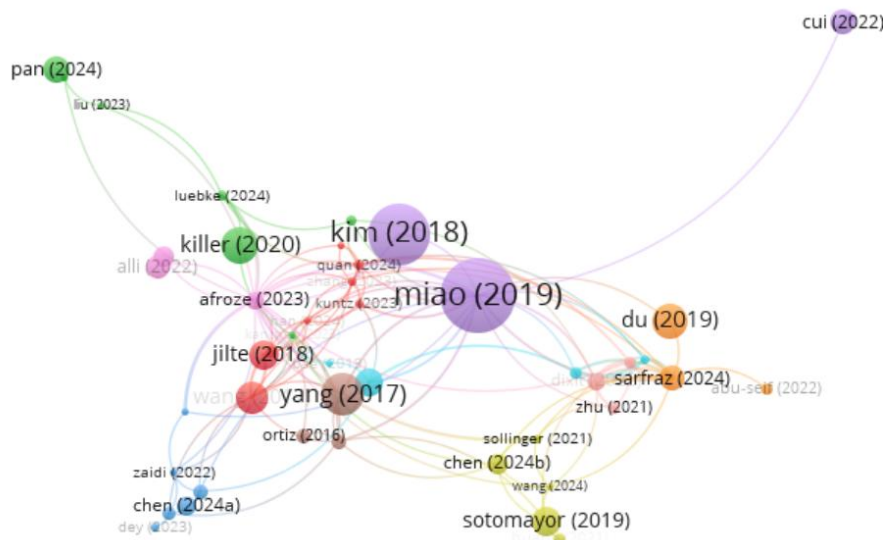


Ilustración 443: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle



La red se muestra débil, demuestra que hay investigaciones coherentes y actualizadas.

4.5.Co-citation



Ilustración 444: Mapa de cocitación para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

En la red no hay escuelas relevantes a la vista, muestra que es una línea histórica.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

5.1.Co-authorship

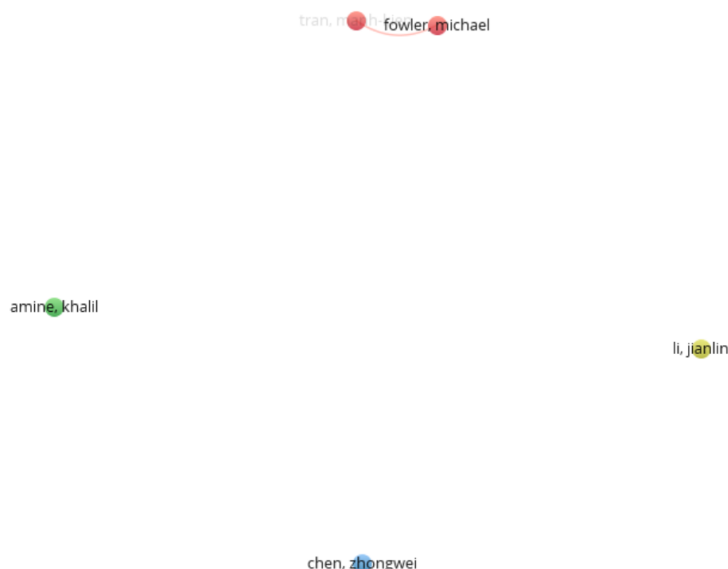


Ilustración 445: Mapa de coautoría para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

E muestra una red sólida y dispersa, hay autores chinos. Muestra que LFP es un material tecnológica y comercialmente atractivo.

5.2.Co-ocurrence

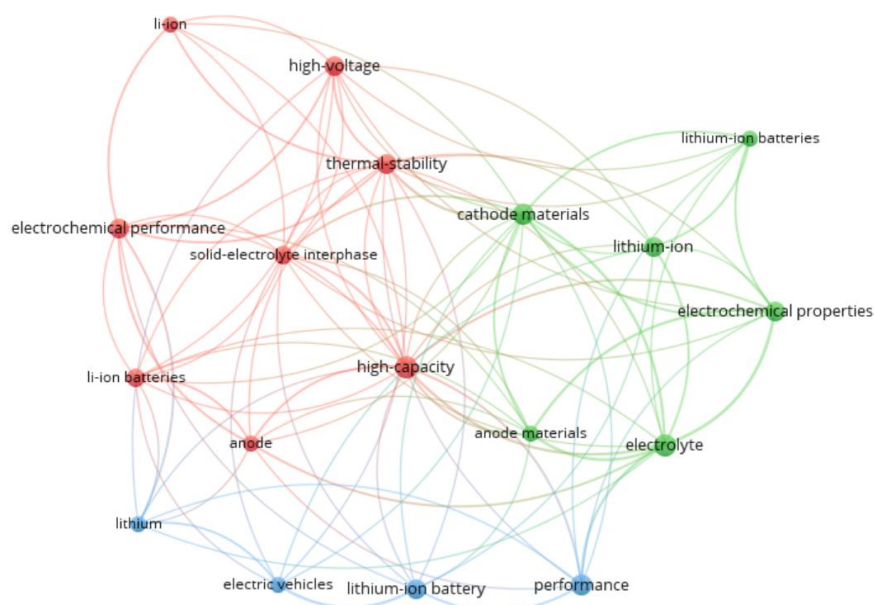


Ilustración 446: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

Los Clústeres del mapa son sobre estabilidad térmica, vida útil del ciclo, coste-rendimiento.

5.3.Citation



Ilustración 447: Mapa de citación para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency

La ilustración demuestra que los artículos con mayor relevancia se foguean en las ventajas térmicas del LFP.

5.4.Bibliographic coupling

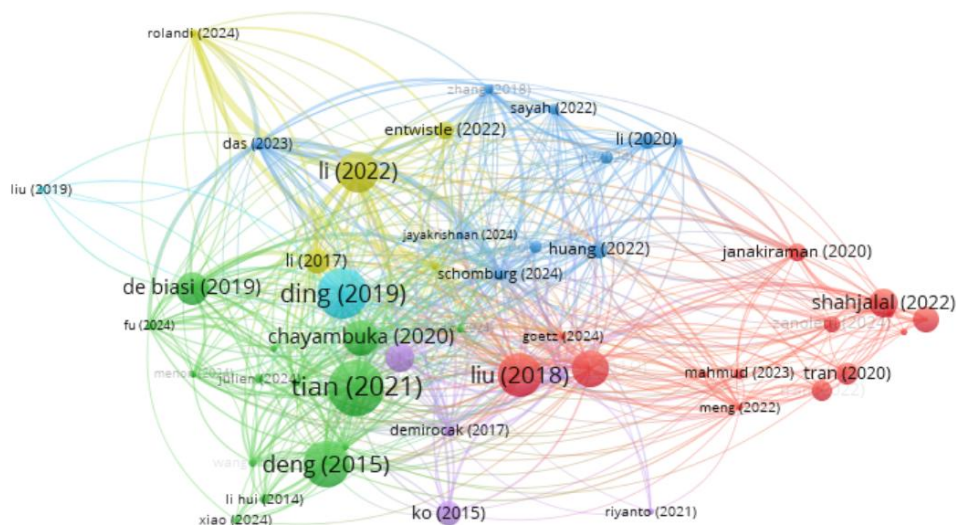


Ilustración 448: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando *Lithium iron phosphate battery AND efficiency*

En la ilustración se observa una buena concordancia metodológica en estudios de rendimiento y ciclabilidad.

5.5.Co-citation

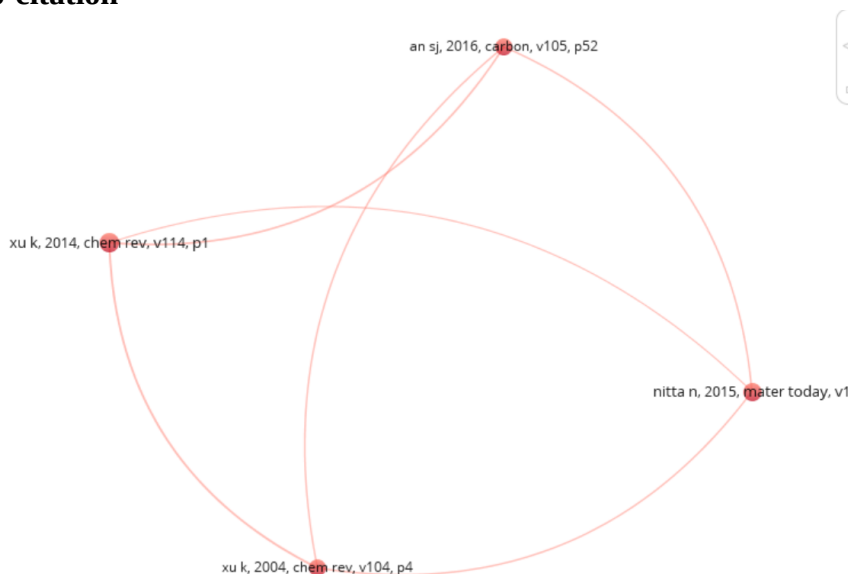


Ilustración 449: Mapa de cocitación para el comando *Lithium iron phosphate battery AND efficiency*

Aquí se ilustra una escuela consolidada basada en estudios de estabilidad térmica.

6. Solid-state battery AND commercialization

6.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 450: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization

Este mapa muestra redes divididas de intensidad moderada y desarrollos en etapa pre comercial.

6.2.Co-ocurrence

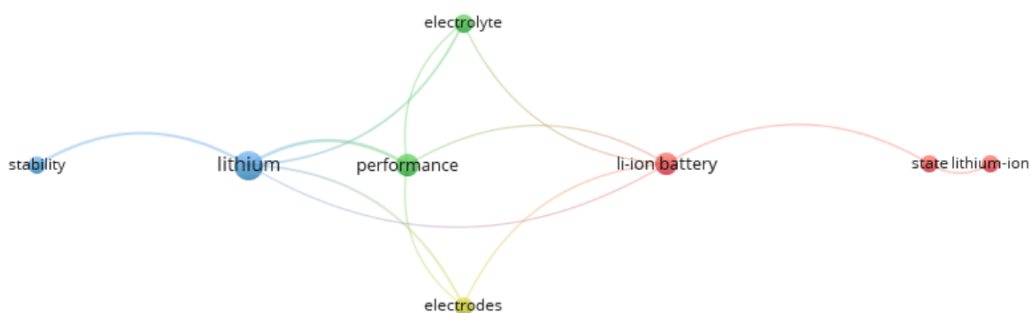


Ilustración 451: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Solid-state battery AND commercialization

La red presenta palabras clave como: electrolito sólido, estabilidad de la interfaz, conductividad iónica.

6.3.Citation

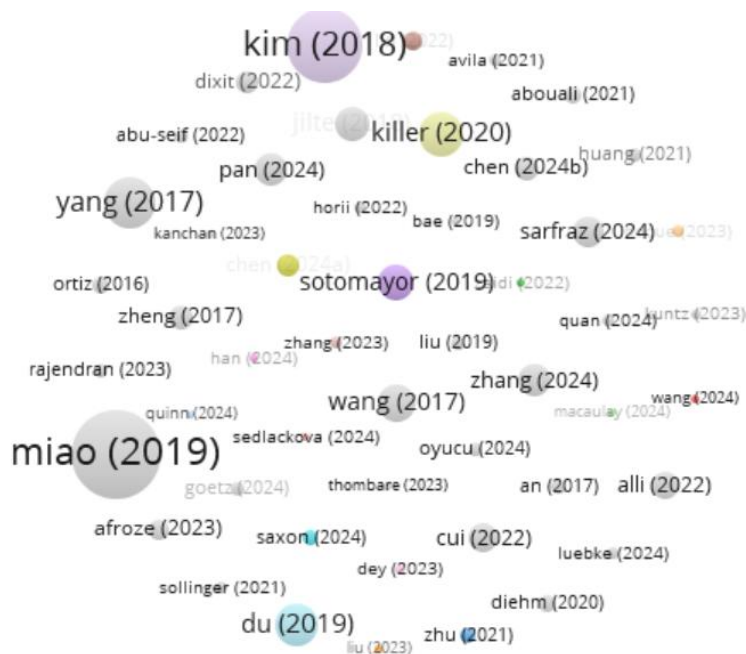


Ilustración 452: Tarjeta de cotización para batería de estado sólido Y equipo de comercialización

El mapa revela cotizaciones relativas bajas típicas de la nueva tecnología.

6.4.Bibliographic coupling

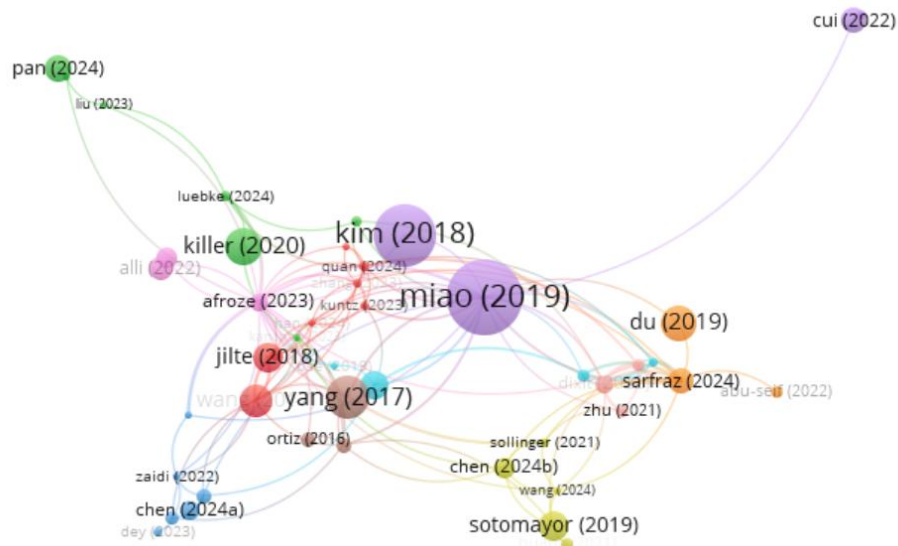


Ilustración 453: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Solid-state battery AND commercialization

La red indica que existe una débil congruencia metodológica: cada grupo evaluó diferentes materiales.

6.5.Co-citation



Ilustración 454: Mapa de cocitación para el comando Solid-state battery AND commercialization

El mapa ilustra que, por ahora, no hay autores centrales que sean ampliamente reconocidos.

7. Sodium-ion battery AND performance

7.1.Co-authorship



Ilustración 455: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance

La red inca ser de tamaño mediano y experimenta un rápido crecimiento.

7.2.Co-ocurrence

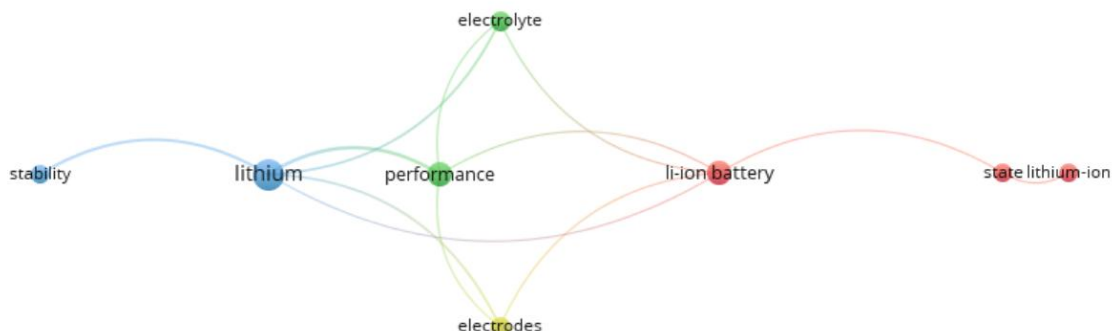


Ilustración 456: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Sodium-ion battery AND performance

En el mapa se predominan clústeres sobre materiales de bajo coste, cátodo de sodio, vida del ciclo.

7.3.Citation

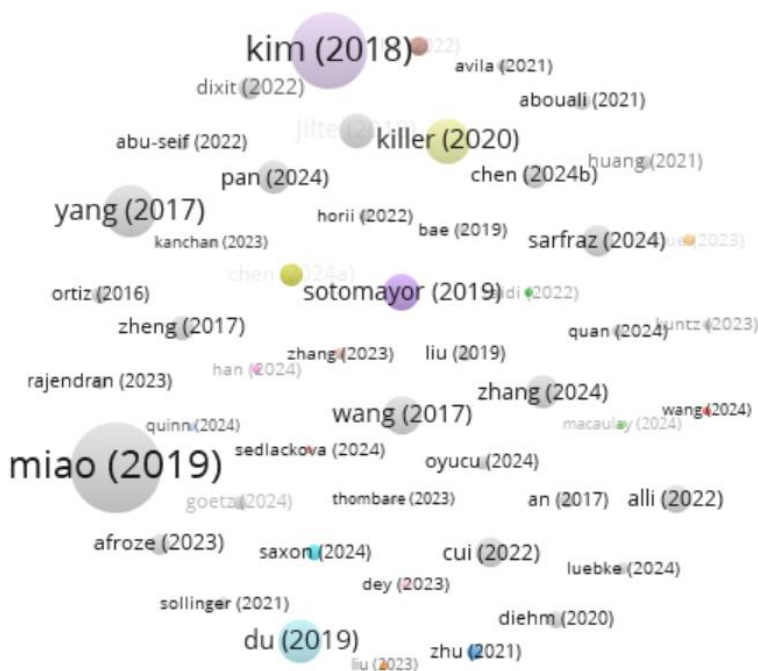


Ilustración 457: Mapa de citación para el comando Sodium-ion battery AND performance

El mapa demuestra que los artículos más citados tratan el potencial industrial a raíz de la abundancia del sodio.

7.4.Bibliographic coupling

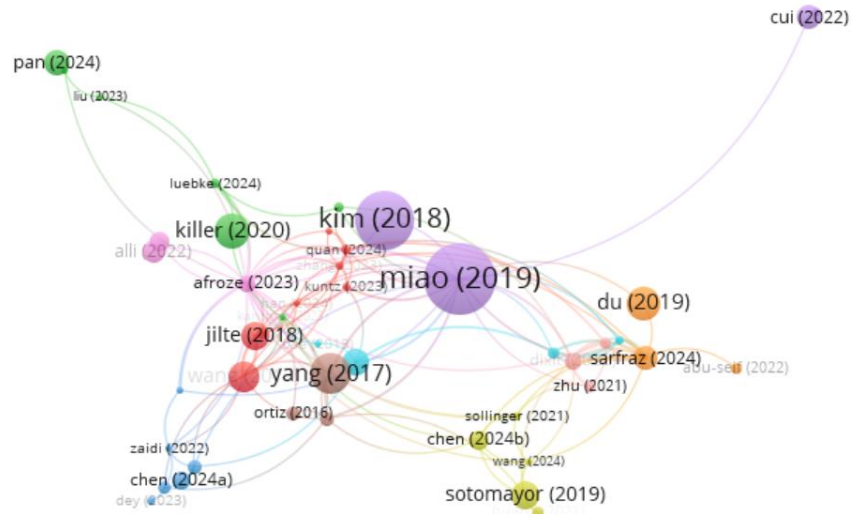


Ilustración 458: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Sodium-ion battery AND performance

En el mapa se una buena coincidencia acuerdo entre las referencias, se observa una consolidación progresiva.

7.5.Co-citation



Ilustración 459: Batería de iones de sodio Y mapa de inducción de comandos de rendimiento

La red indica nuevos autores, incluso sin escuelas dominantes.

8. Hybrid battery AND lifetime

8.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 460: Mapa de coautoría para el comando Hybrid battery AND lifetime

La red presenta estudios pequeños y aislados en el extranjero.

8.2.Co-occurrence

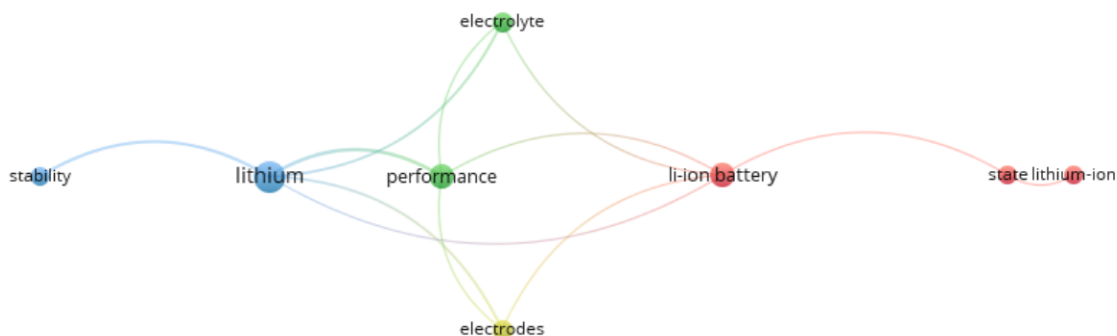


Ilustración 461: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Hybrid battery AND lifetime

En la red se indican términos dispersos como: almacenamiento híbrido, ciclo, balance de carga.

8.3.Citation

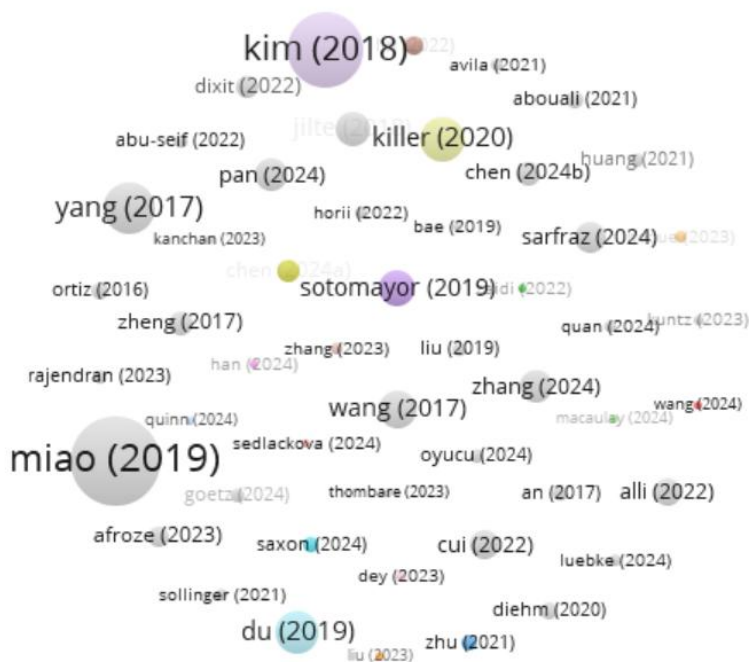


Ilustración 462: Tarjeta de referencia para batería híbrida Y comando de vida útil

El mapa muestra poca influencia documental.

8.4. Bibliographic coupling

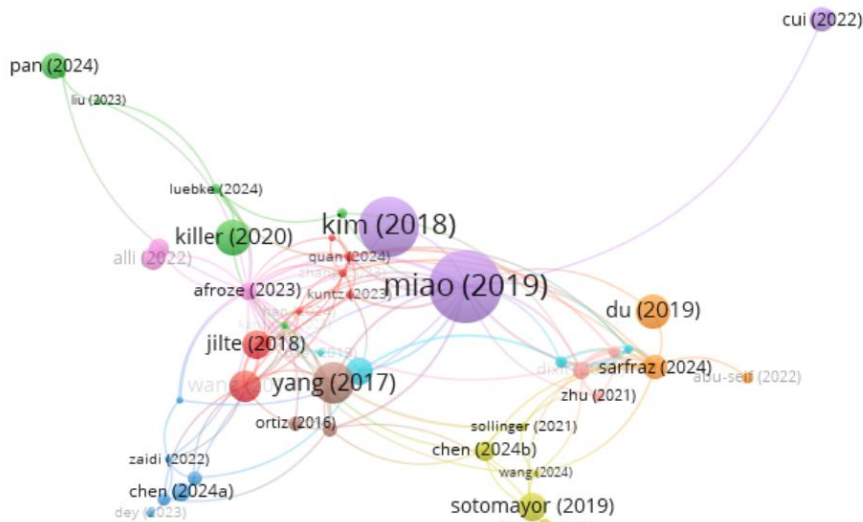


Ilustración 463: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Hybrid battery AND lifetime

En la ilustración se observa bajo nivel e investigación diversa.

8.5. Co-citation



Ilustración 464: Mapa de cocitación para el comando Hybrid battery AND lifetime

La red demuestra que hay una inexistente consistencia teórica, ya que es un campo marginal.

9. Battery efficiency AND charging

9.1.Co-authorship

keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 465: Mapa de coautoría para el comando Battery efficiency AND charging

El mapa se trata de una de las redes más grandes y dispersas en su tipo. Un poco de todo, desde equipos trabajando en la eficiencia energética, a otros haciendo pruebas.

9.2.Co-occurrence

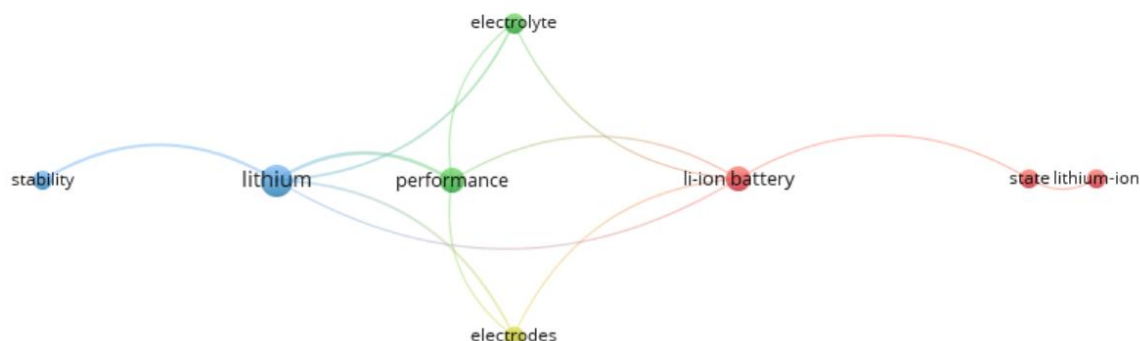


Ilustración 466: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery efficiency AND charging

La red muestra palabras clave como: algoritmo de carga rápida, control térmico, carga rápida.

9.3.Citation

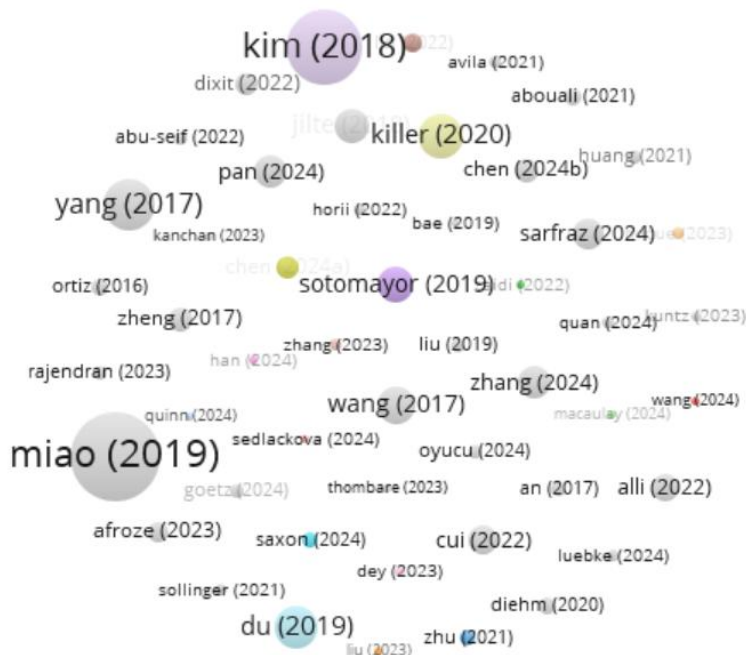


Ilustración 467: Mapa de citación para el comando Battery efficiency AND charging

El mapa de citaciones muestra artículos muy citados sobre dinámica de carga.

9.4.Bibliographic coupling

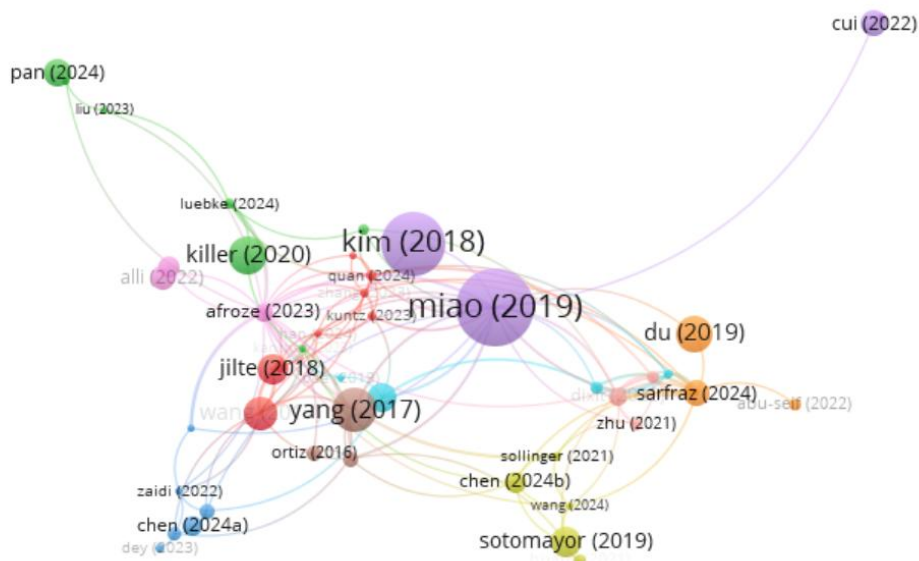


Ilustración 468: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery efficiency AND charging

En esta ilustración se indica un buen acuerdo en modelos matemáticos y simulaciones para CAS.

9.5.Co-citation



Ilustración 469: Mapa de cocitación para el comando Battery efficiency AND charging

En la red se indica que existen escuelas que integran electroquímica + algoritmos de control.

10. Battery lifespan AND Li-ion

10.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 470: Mapa de coautoría para el comando Battery lifespan AND Li-ion

En este mapa se indica que hay una red extensa con múltiples subgrupos.

10.2.Co-ocurrence

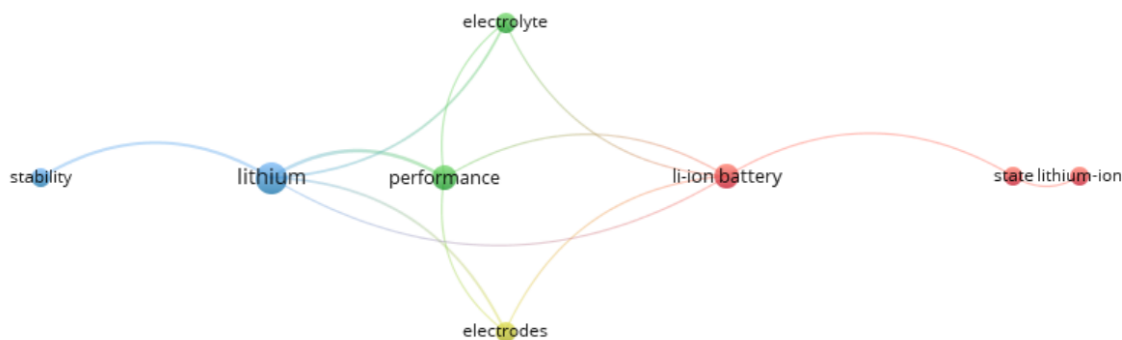


Ilustración 471: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery lifespan AND Li-ion

En la red se puede observar clústeres asociados en: modelos de envejecimiento, vida útil, envejecimiento en calendario.

10.3.Citation

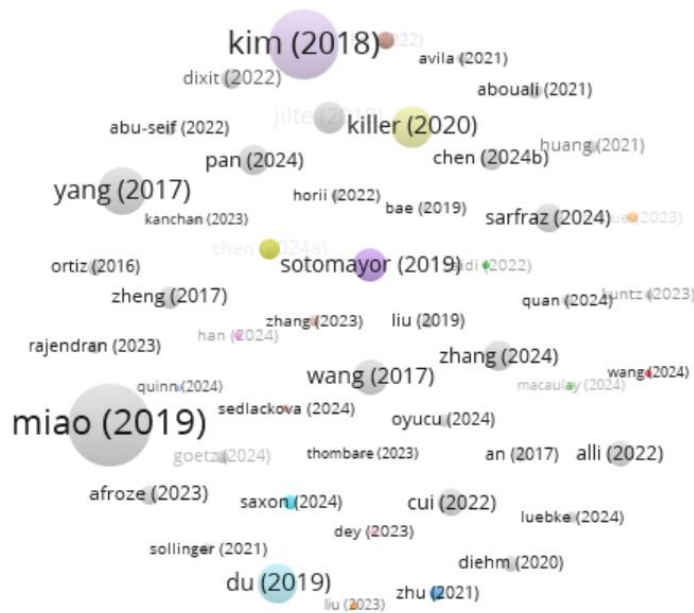


Ilustración 472: Mapa de citación para el comando *Battery lifespan AND Li-ion*

El mapa muestra artículos clásicos sobre la predicción de la vida.

10.4. Bibliographic coupling

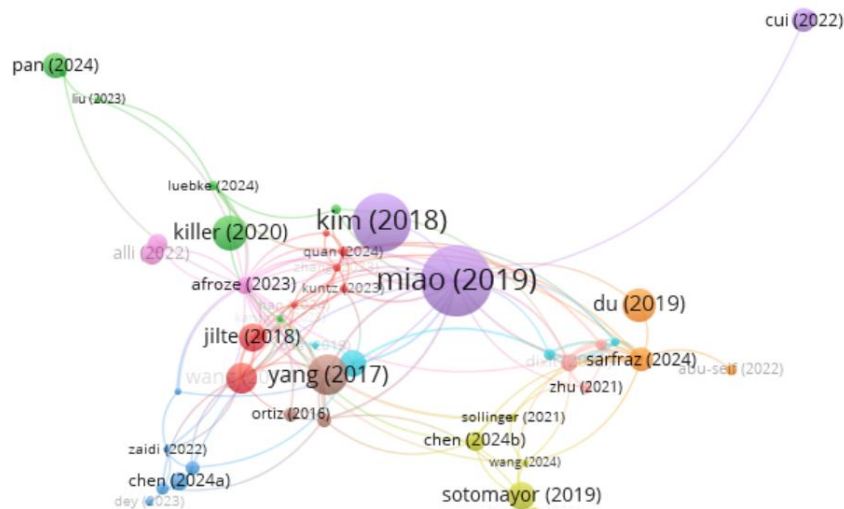


Ilustración 473: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery lifespan AND Li-ion

La red tiene una variación de estable a fuerte estableciendo una línea bien establecida.

10.5.Co-citation



Ilustración 474: Mapa de visita para el equipo Battery Life AND Li-ion

La ilustración muestra enfoques teóricos para el modelado matemático del envejecimiento.

11. Battery thermal management AND vehicle

11.1.Co-authorship



Ilustración 475: Mapa de coautoría para el comando Battery thermal management AND vehicle

Esta es una red de robustez con colaboración mecánica y eléctrica.

11.2.Co-ocurrence

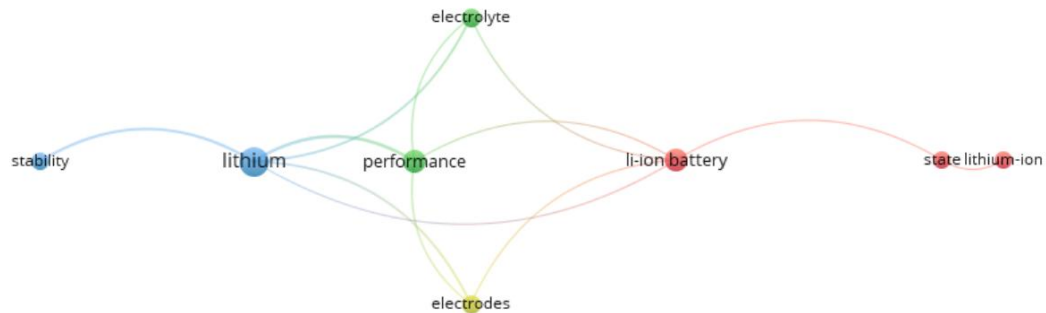


Ilustración 476: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery thermal management AND vehicle

La red presenta clústeres muy consolidados como: sistema de refrigeración, refrigeración líquida, transferencia de calor.

11.3.Citation

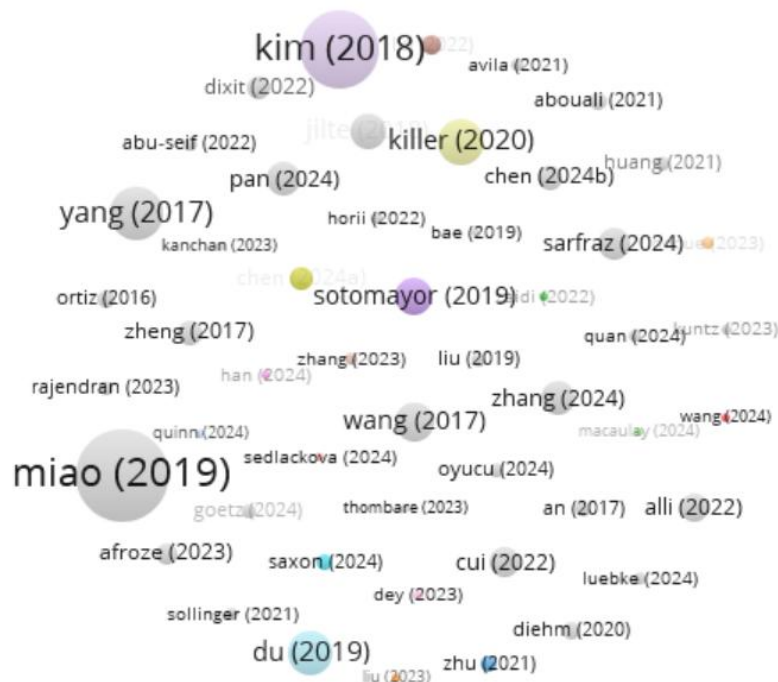


Ilustración 477: Mapa de referencia para la gestión térmica de la batería y el comando del vehículo

El mapa muestra el aumento de las demandas de alta tensión, un tema crítico para los vehículos eléctricos.

11.4.Bibliographic coupling

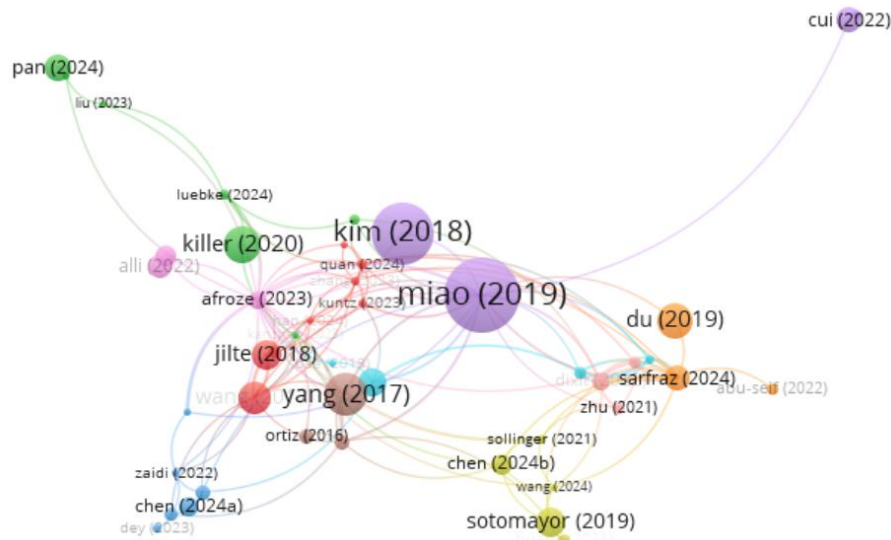


Ilustración 478: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery thermal management AND vehicle

Esta red ilustra buenas propiedades de homogenización en los modelos térmicos.

11.5.Co-citation



Ilustración 479: Mapa de cocitación para el comando Battery thermal management AND vehicle

Esta red de co-citacion muestra a instituciones educativas consolidadas de gestión de la temperatura aplicada.

12. Battery safety AND thermal runaway

12.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

***Ilustración 480:** Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway*

La ilustración presenta una red de tamaño mediano para pruebas de fallos.

12.2.Co-occurrence

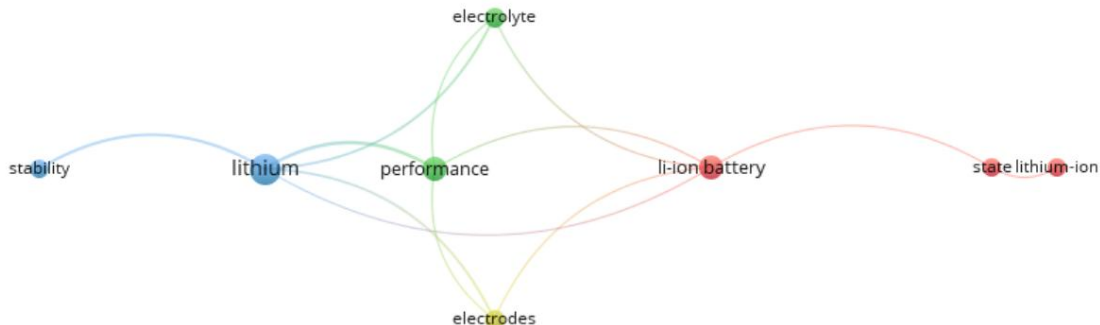


***Ilustración 481:** Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery safety AND thermal runaway*

Aquí se demuestra dominio sólido de los términos cuando se trata de incendios, fallas internas y calor.

12.3.Citation

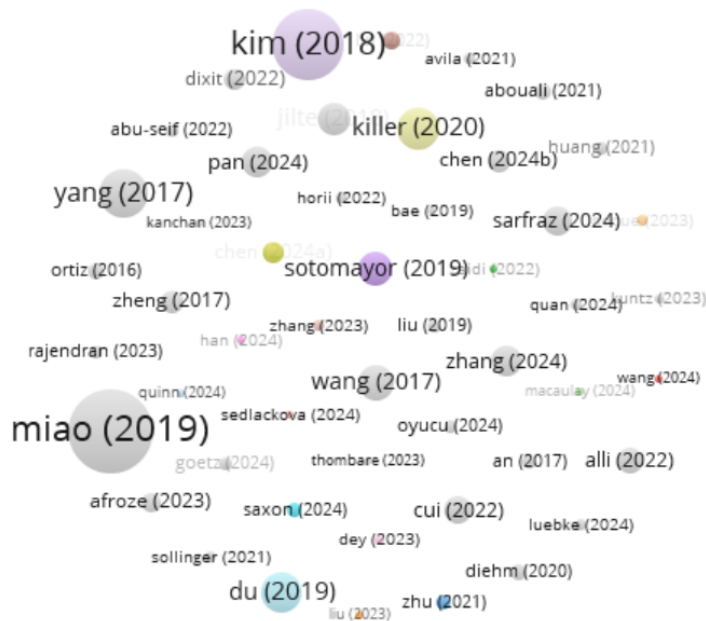


Ilustración 482: Mapa de citación para el comando Battery safety AND thermal runaway

El mapa muestra documentos muy citados de incidente relacionados con la industria.

12.4. Bibliographic coupling

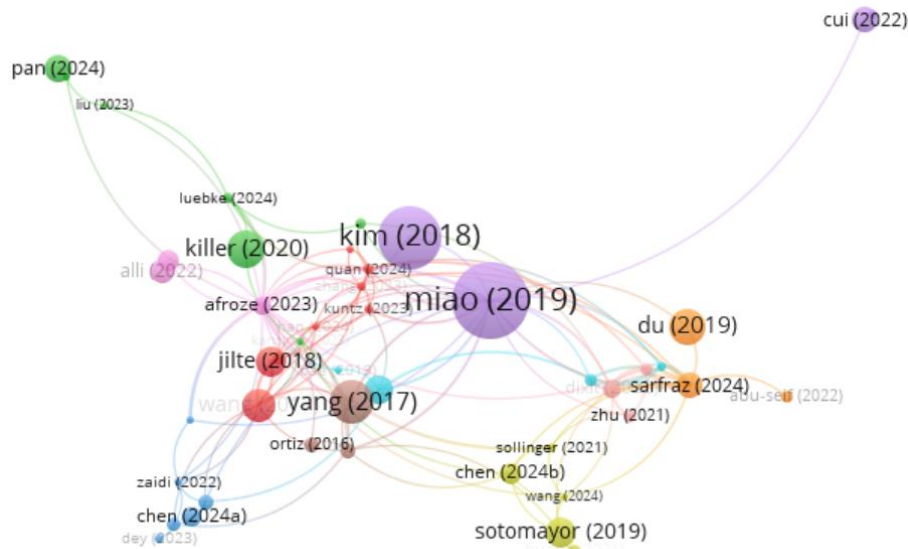


Ilustración 483: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery safety AND thermal runaway

El mapa esta destacado en análisis térmicos experimentales.

12.5. Co-citation



Ilustración 484: Mapa de cocitación para el comando *Battery safety AND thermal runaway*

La red proporciona un fuerte fundamento teórico sobre la seguridad.

13. Battery cost AND electric vehicles

13.1.Co-authorship

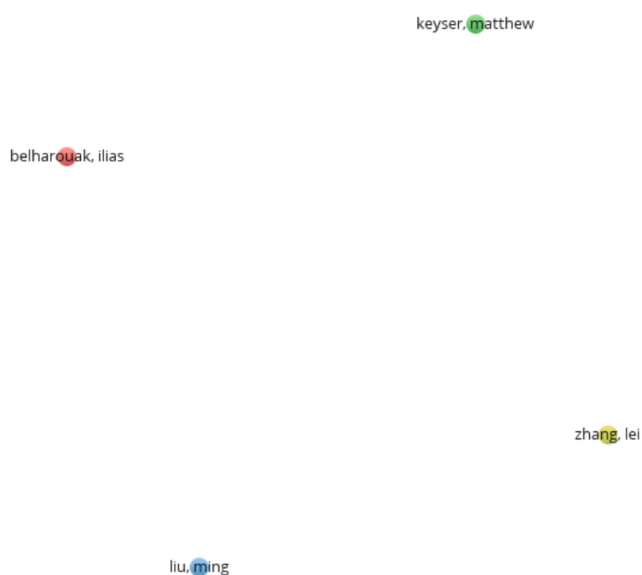


Ilustración 485: Mapa de coautoría para el comando *Battery cost AND electric vehicles*

En la ilustración se muestra una red media, dispersa, enfocada a análisis de economía.

13.2.Co-occurrence

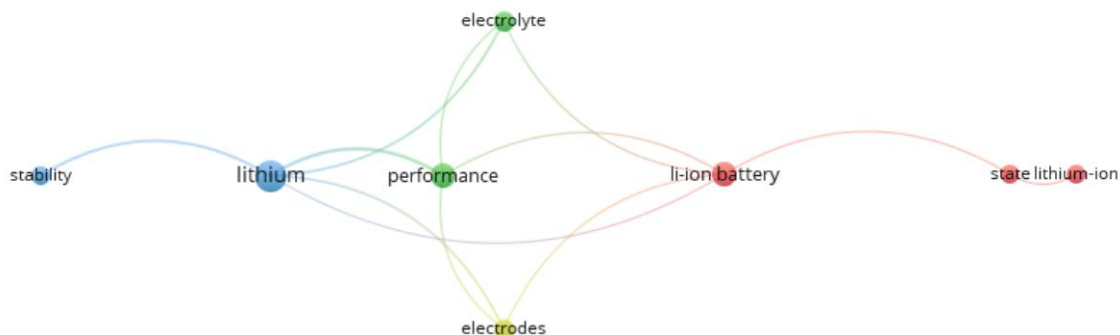


Ilustración 486: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando *Battery cost AND electric vehicles*



En la red aparecen términos como: cadena de suministro, costo de fabricación, economía.

13.3.Citation

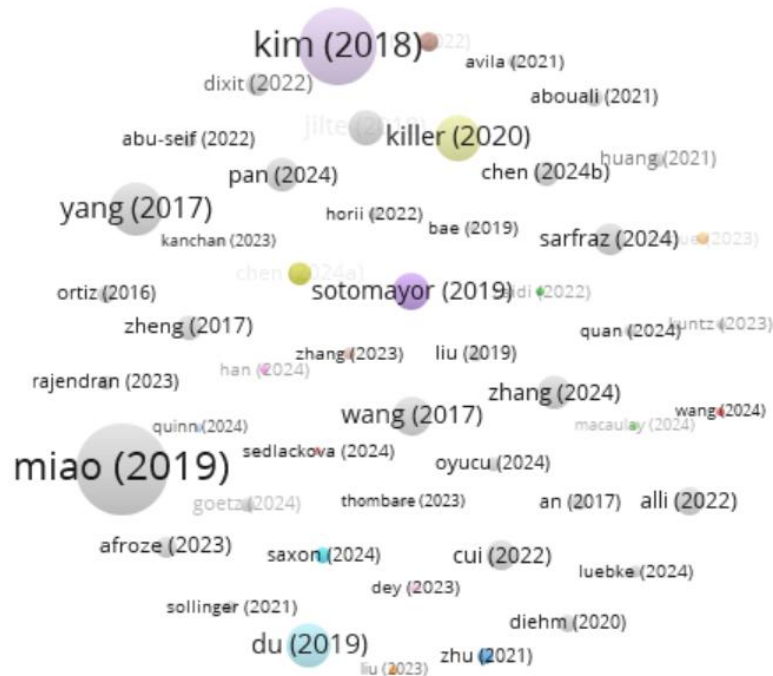


Ilustración 487: Mapa de citación para el comando Battery cost AND electric vehicles

El mapa ilustra una alta citación en estudios de costes por kWh.

13.4.Bibliographic coupling

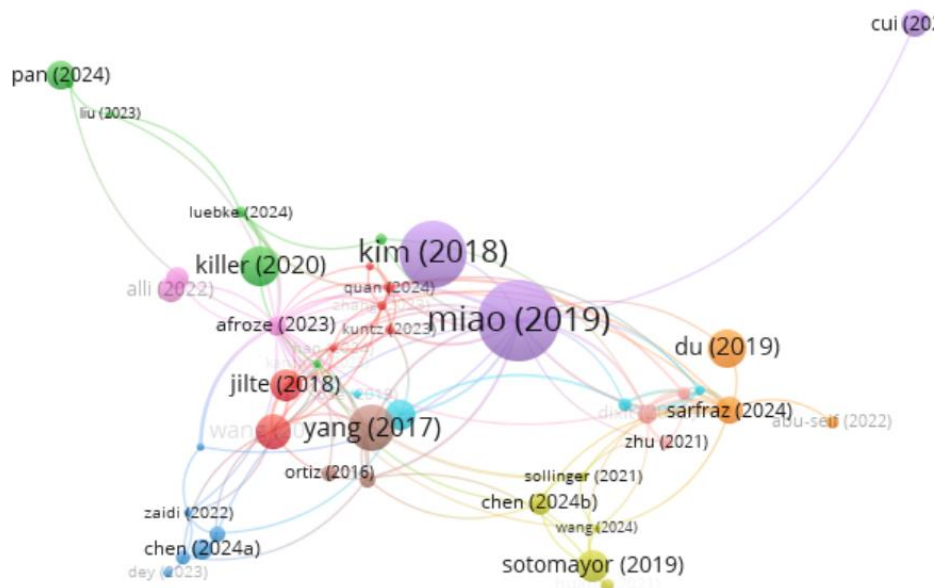


Ilustración 488: Mapa de enlaces bibliográficos para el equipo de Costo de Baterías Y Vehículos Eléctricos

La red muestra coincidencias de las fuentes de economía energética.

13.5.Co-citation



Ilustración 489: Mapa de cocitación para el comando Battery cost AND electric vehicles

La red ilustra una escuela fundada en el análisis económico del litio.

14. Battery recycling AND lithium-ion

14.1. Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 490: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion

En la ilustración se muestra una red dispersa con interés en la economía circular.

14.2. Co-occurrence

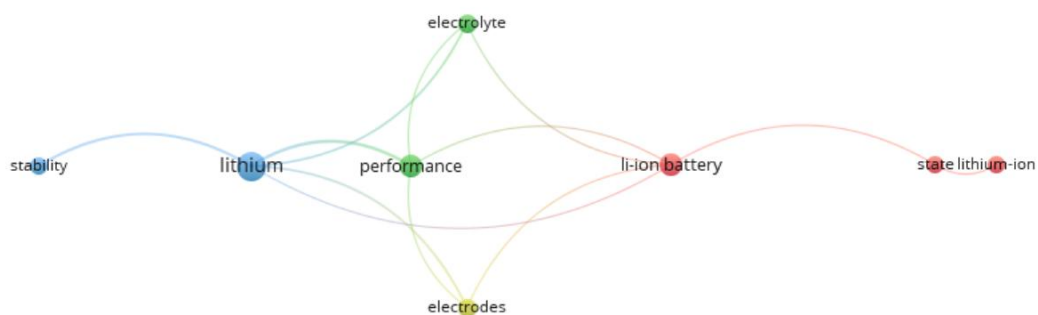


Ilustración 491: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Battery recycling AND lithium-ion

Aquí se muestra un grupo en recuperación, sostenibilidad, economía circular.

14.3. Citation

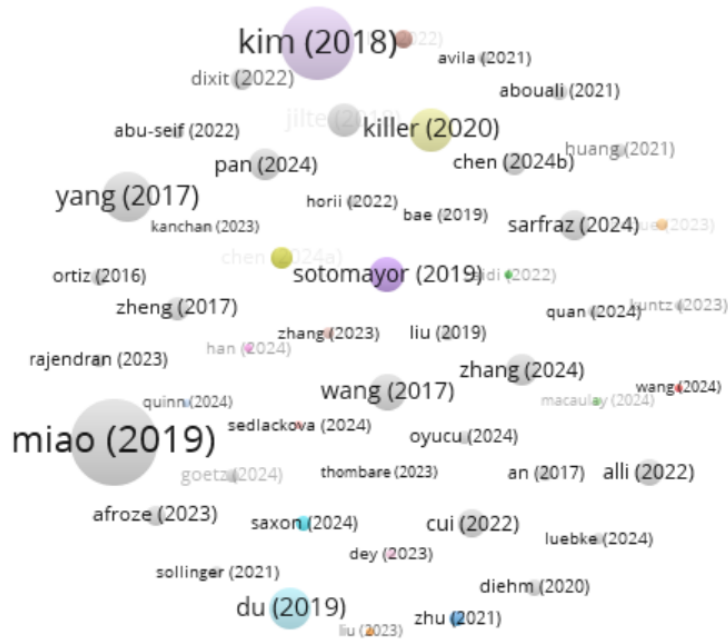


Ilustración 492: Mapa de citación para el comando Battery recycling AND lithium-ion

El mapa demuestra la presencia de artículos muy citados sobre reciclaje hidrometalúrgico y pirometalúrgico.

14.4. Bibliographic coupling

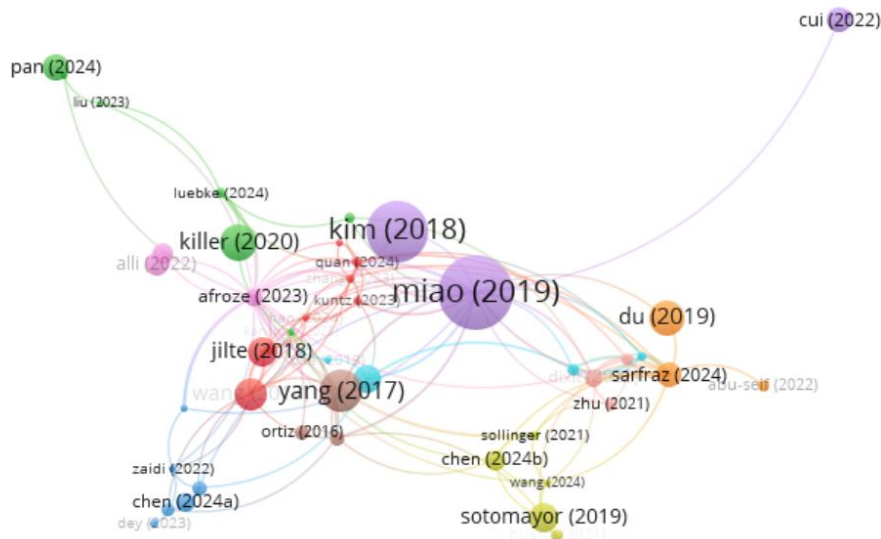


Ilustración 493: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Battery recycling AND lithium-ion

La red ilustra fuertes interconexiones, debido al uso de metodologías similares, se deslizaron.

14.5. Co-citation



Ilustración 494: Mapa de referencia para el equipo de Reciclaje de Baterías Y Iones de Litio

La red proporciona una sólida formación en sostenibilidad energética.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

15.1.Co-authorship

keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 495: Mapa de coautoría para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

La ilustración indica una red pequeña, con investigaciones en experimentación.

15.2.Co-ocurrence

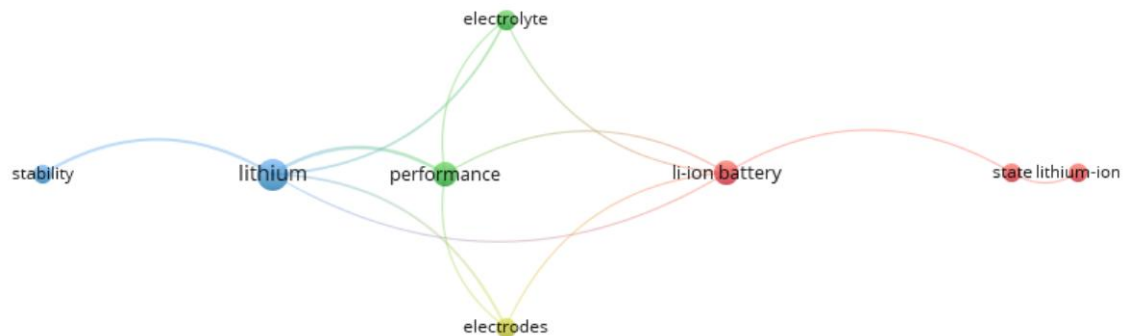


Ilustración 496: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

En el mapa se exhiben términos como: cátodo de azufre, polisulfuro, reacción de conversión.

15.3.Citation

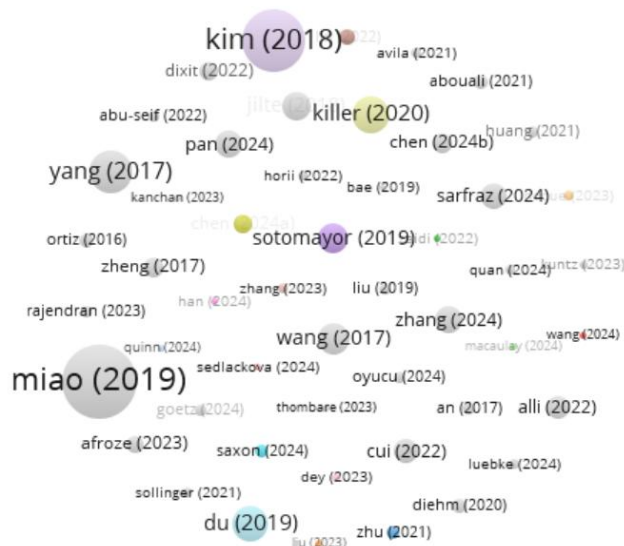


Ilustración 497: Mapa de citación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

El mapa presenta estudios en laboratorios moderados.

15.4.Bibliographic coupling

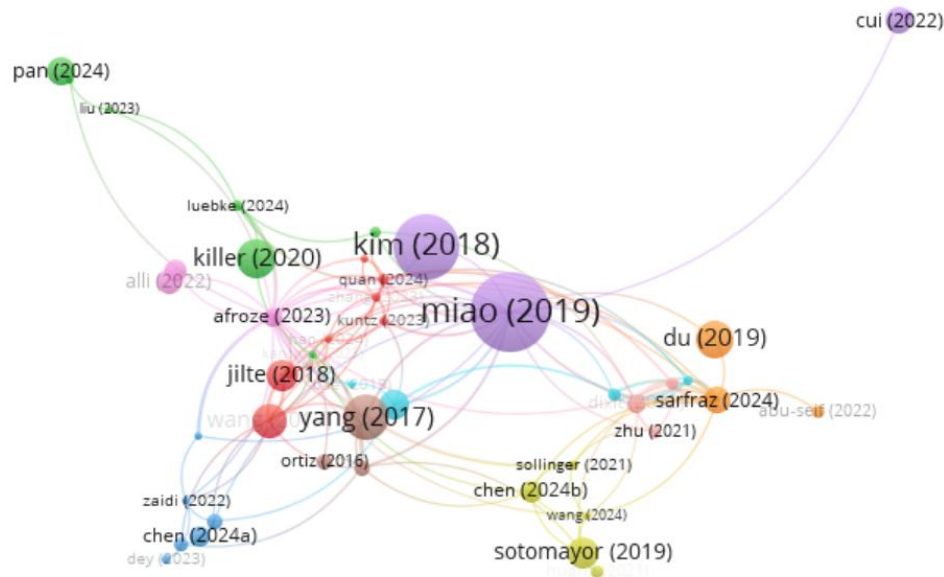


Ilustración 498: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

La red ilustra un contenido heterogéneo experimental.

15.5.Co-citation



Ilustración 499: Mapa de cocitación para el comando Lithium-sulfur battery AND applications

Esta ilustración muestra un campo emergente limitado.

16. Aluminum-air battery AND mobility

16.1.Co-authorship



keyser, matthew

belharouak, ilias

zhang, lei

liu, ming

Ilustración 500: Mapa de coautoría para el comando Aluminum-air battery AND mobility

Esta ilustración muestra una red mínima, con terreno de investigación descuidado.

16.2.Co-occurrence

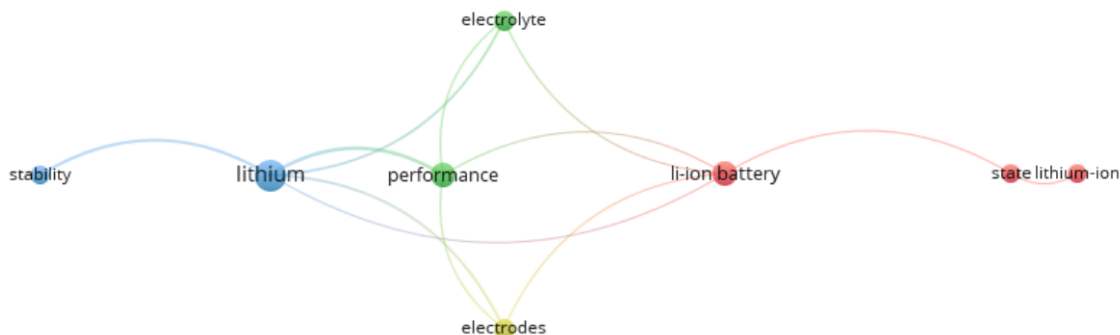


Ilustración 501: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Aluminum-air battery AND mobility

La red proporciona pocos términos relevantes.

16.3.Citation

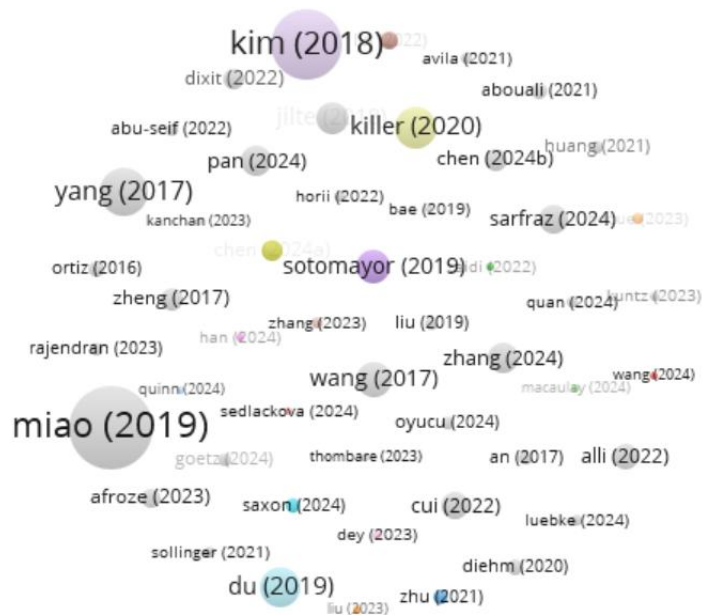


Ilustración 502: Mapa de citación para el comando Aluminum-air battery AND mobility

El mapa muestra una producción muy baja.

16.4. Bibliographic coupling

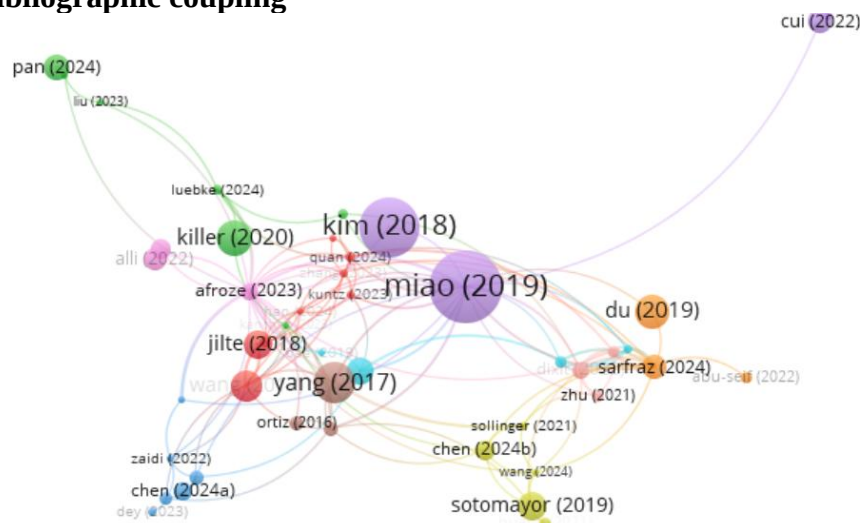


Ilustración 503: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Aluminum-air battery AND mobility

La red muestra muy pocas investigaciones.

16.5.Co-citation



Ilustración 504: Mapa de cocitación para el comando Aluminum-air battery AND mobility

Se muestra en esta red poca coherencia de autores en estas citaciones.

17. Fast charging AND Li-ion battery

17.1.Co-authorship



Ilustración 505: Mapa de colaborador para Team Fast Charge Y batería de iones de litio

Aquí se ve una red grande y distribuida con grupos especializados en algoritmos y.

17.2.Co-ocurrence

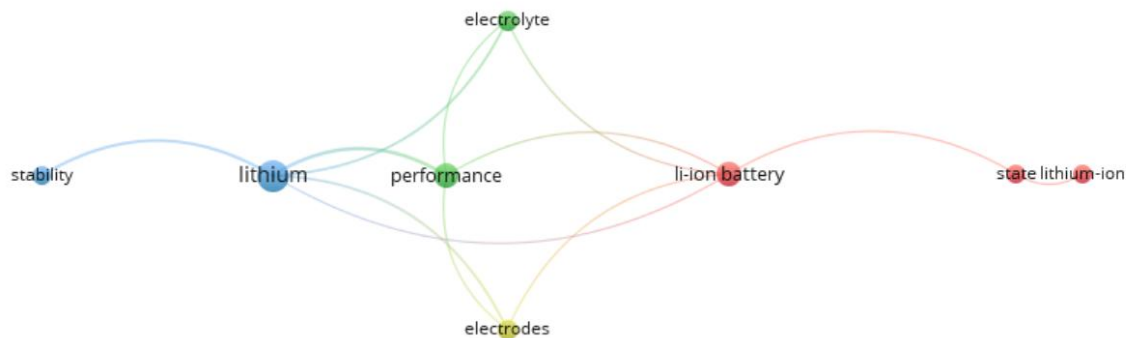


Ilustración 506: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Fast charging AND Li-ion battery

La red muestra clústeres como: carga rápida, calentamiento, protocolo de carga.

17.3.Citation

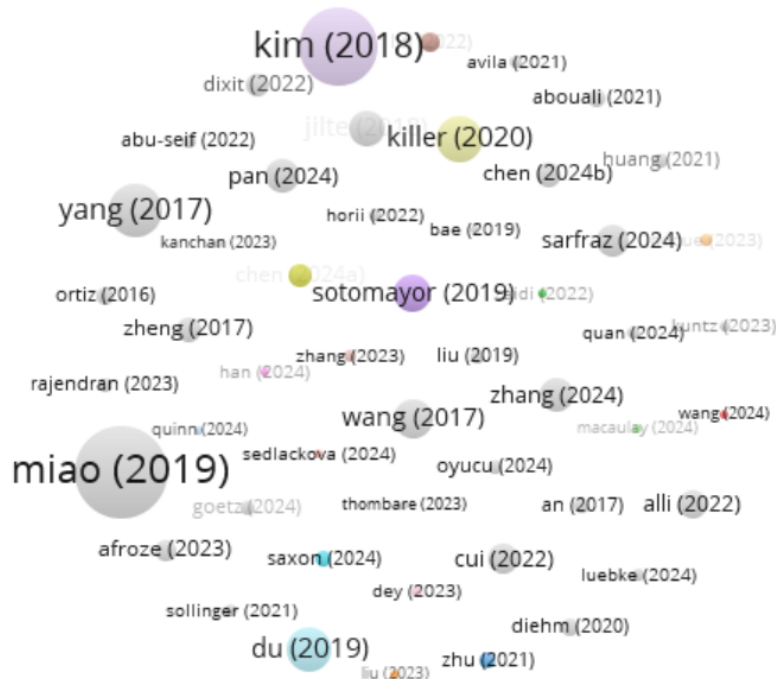
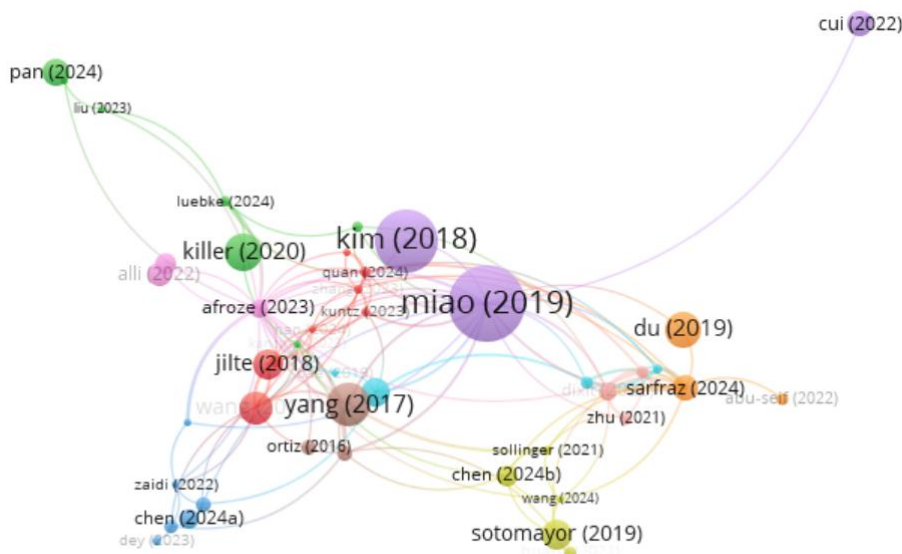


Ilustración 507: Mapa de citación para el comando Fast charging AND Li-ion battery

El mapa indica un tema de prioridad industrial muy alto.

17.4.Bibliographic coupling



La red ilustra una convergencia metodológica fuerte.

royle m, 1993, nature, v451

armand m, 2008, nature, v451

bascon jm, 2001, nature, v41

larcher d, 2015, nat chem,

royle m, 2015, nat chem,

En esta red la formación de lazos es clara para las escuelas híbridas entre electroquímica y control.

18.1.Co-authorship

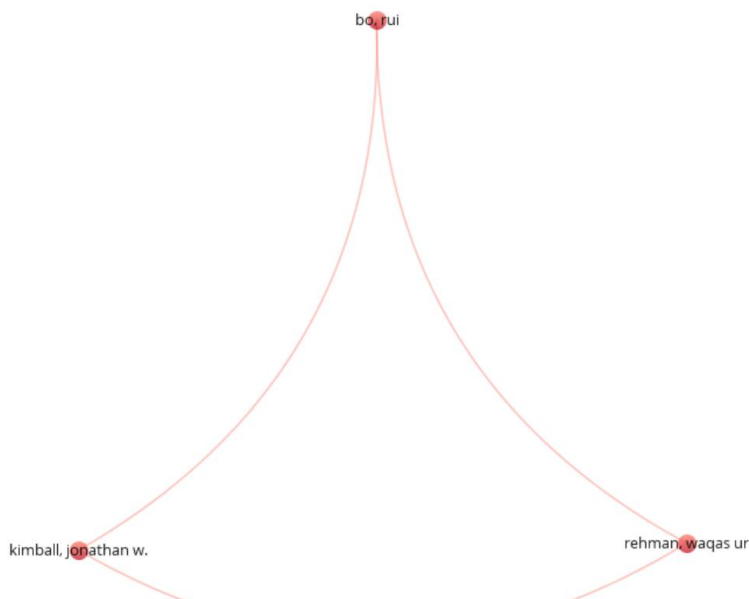


Ilustración 510: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation

Se ilustra una red amplia y Multidisciplinaria.

18.2.Co-occurrence

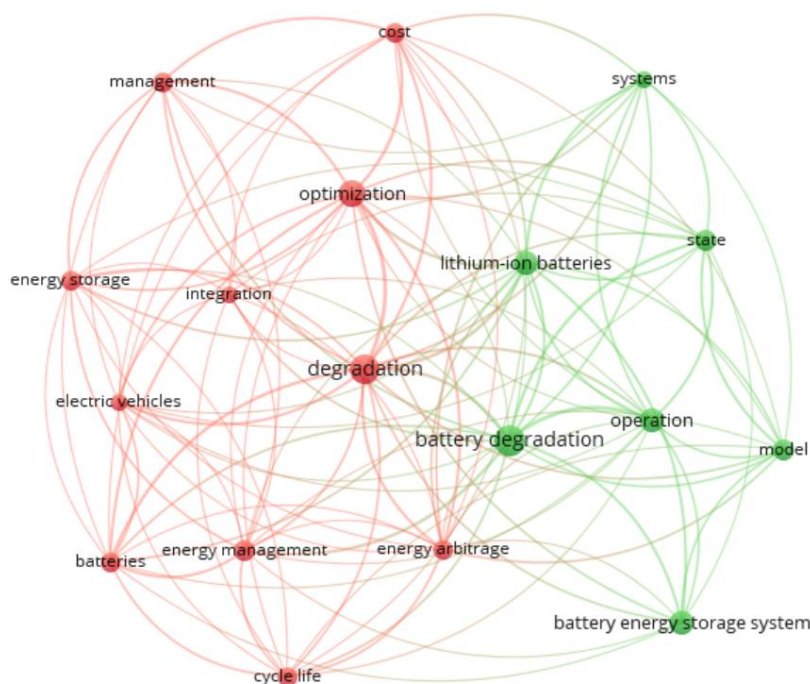


Ilustración 511: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Energy storage AND battery degradation



El mapa demuestra la relación existente entre el almacenamiento masivo y la degradación en VE.

18.3.Citation

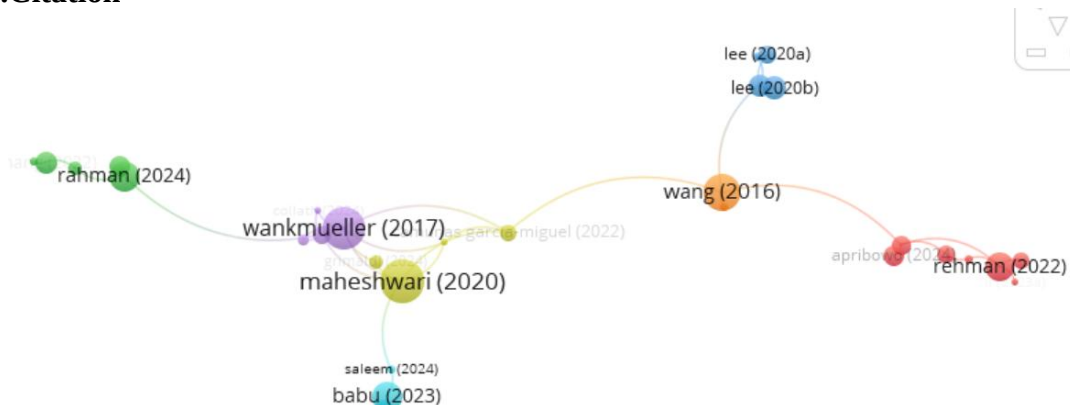


Ilustración 512: Mapa de referencia del equipo de almacenamiento de energía y degradación de baterías

La red indica un alto grado de coherencia asociado con la investigación del envejecimiento en sistemas en red.

18.4.Bibliographic coupling

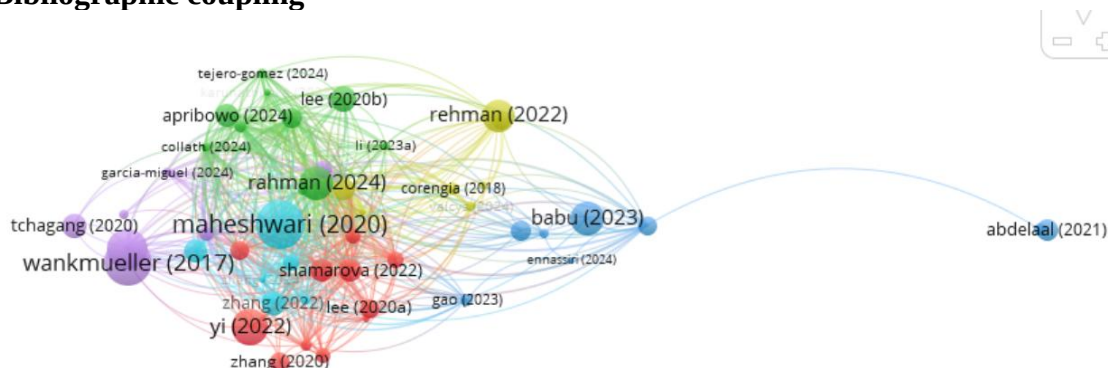


Ilustración 513: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Energy storage AND battery degradation

En este mapa se demuestra que hay una metodología rigurosamente consistente

18.5.Co-citation



Ilustración 514: Mapa de cocitación para el comando Energy storage AND battery degradation

En la ilustración se muestran en este apartado la presencia de Co-escuelas en energía y materiales.

19. Commercial battery AND vehicle

19.1.Co-authorship

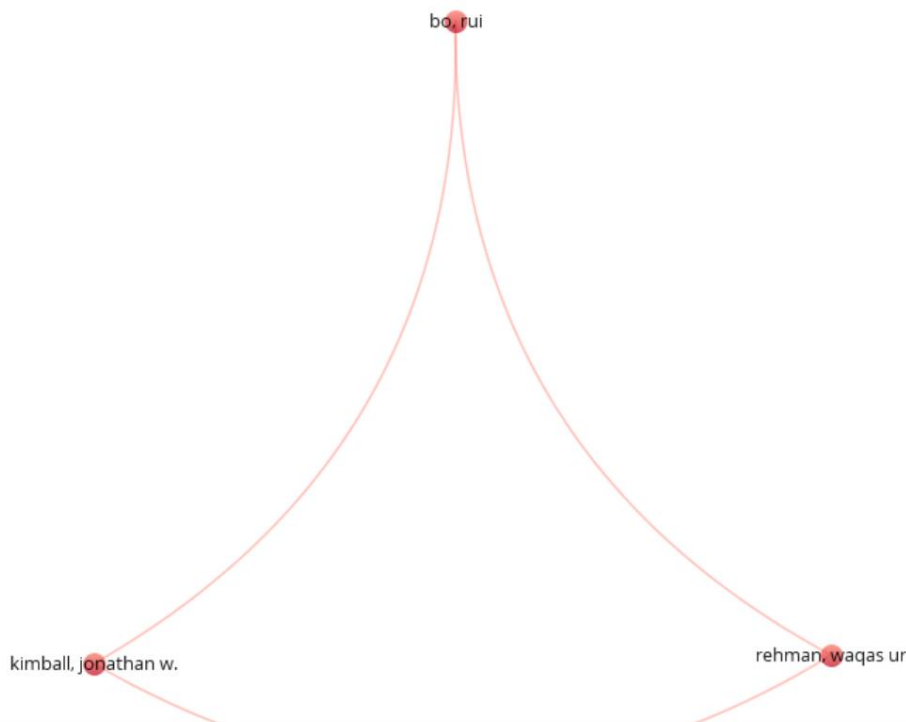


Ilustración 515: Mapa de coautoría para el comando Commercial battery AND vehicle

Se muestra en la ilustración una amplia red, que abarca los estudios industriales y aplicados.

19.2.Co-occurrence

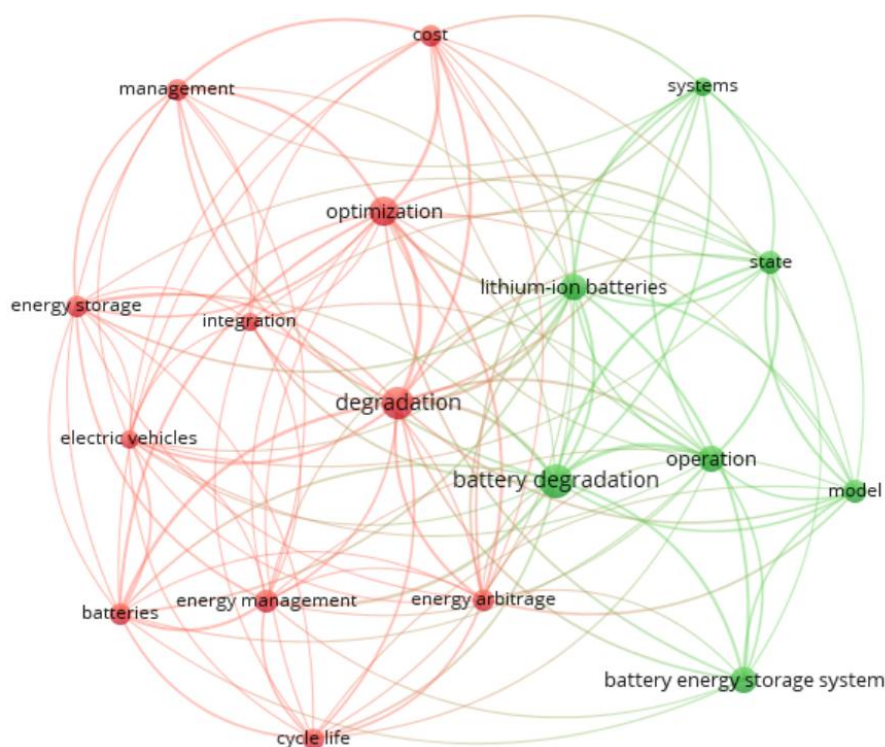


Ilustración 516: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando Commercial battery AND vehicle

El mapa tiene muchas palabras claves entre ellas: batería EV, desempeño, eficiencia.

19.3.Citation

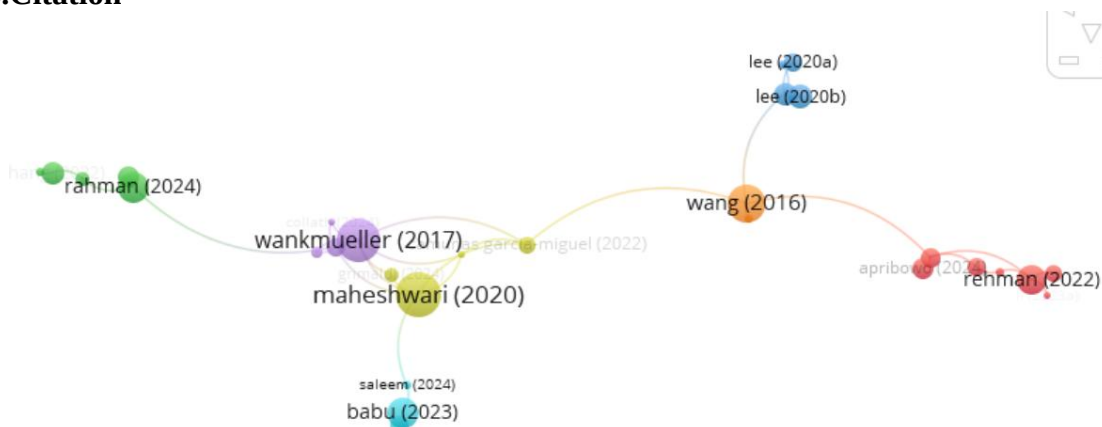


Ilustración 517: Mapa de citación para el comando Commercial battery AND vehicle

La investigación va de moderada a alta, dependiendo del subtema.

19.4.Bibliographic coupling

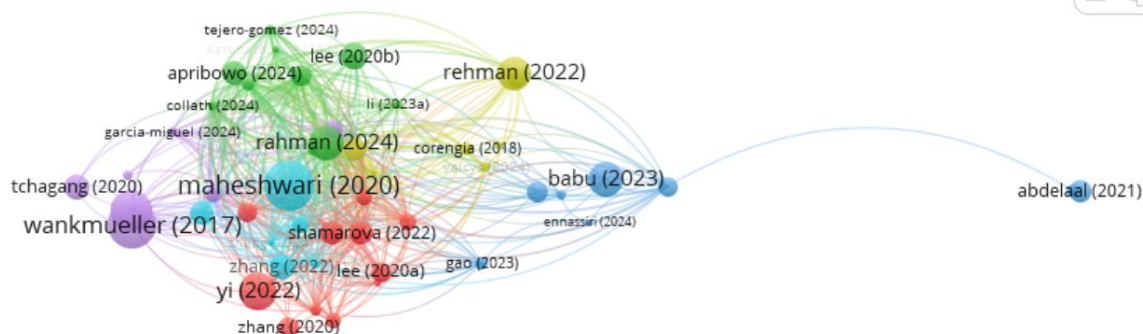


Ilustración 518: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando Commercial battery AND vehicle

La red muestra una justa correspondencia y coincidencia entre los estudios de mercado.

19.5.Co-citation

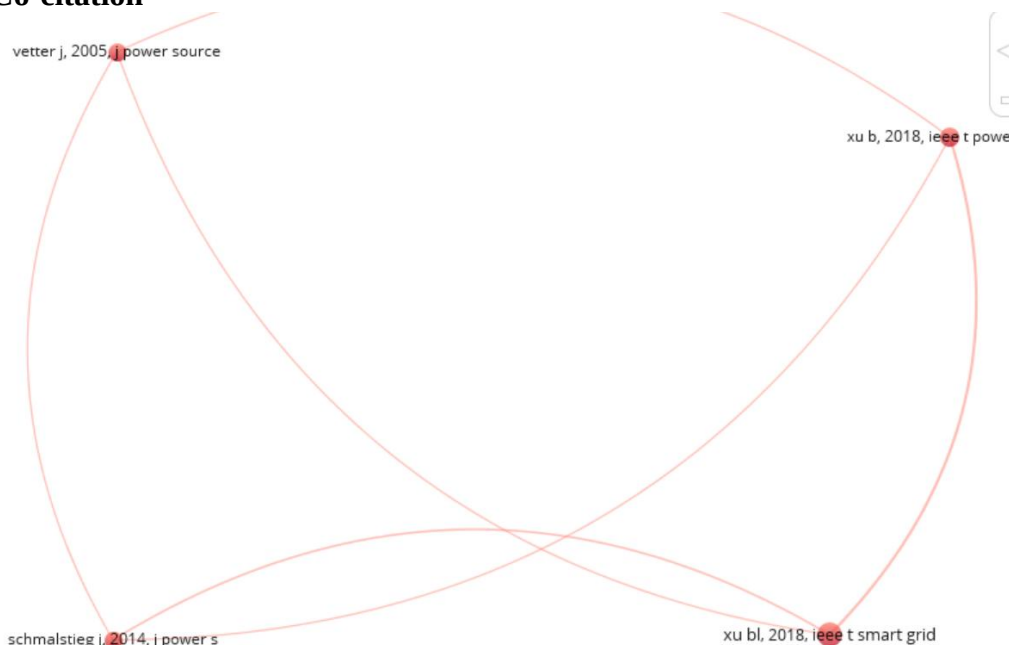


Ilustración 519: Mapa de cocitación para el comando Commercial battery AND vehicle

La red ilustra escuelas centradas en el rendimiento.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

20.1.Co-authorship

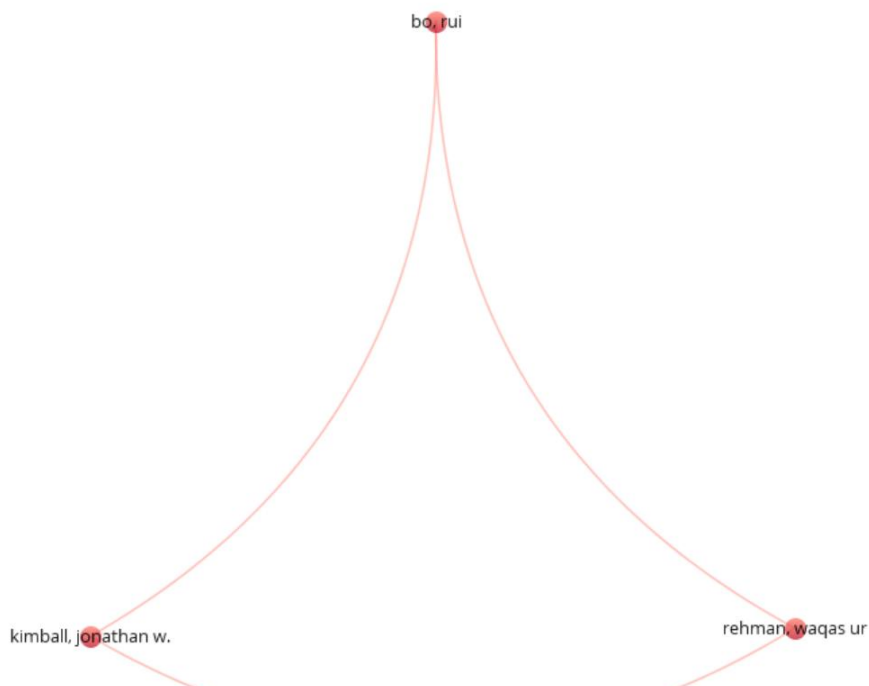


Ilustración 520: Mapa de coautoría para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

Esta es una de las redes más grandes dentro del conjunto de comandos.

20.2.Co-occurrence

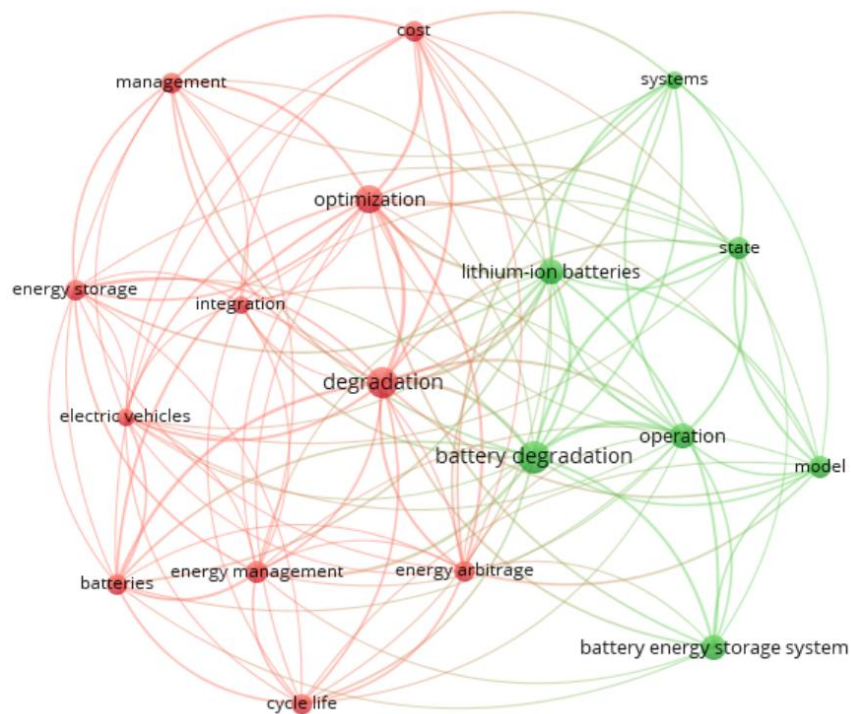


Ilustración 521: Mapa de co-ocurrencia de términos para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

La red presenta clústeres fuertes sobre el comportamiento térmico, eficiencia, durabilidad y seguridad.

20.3.Citation

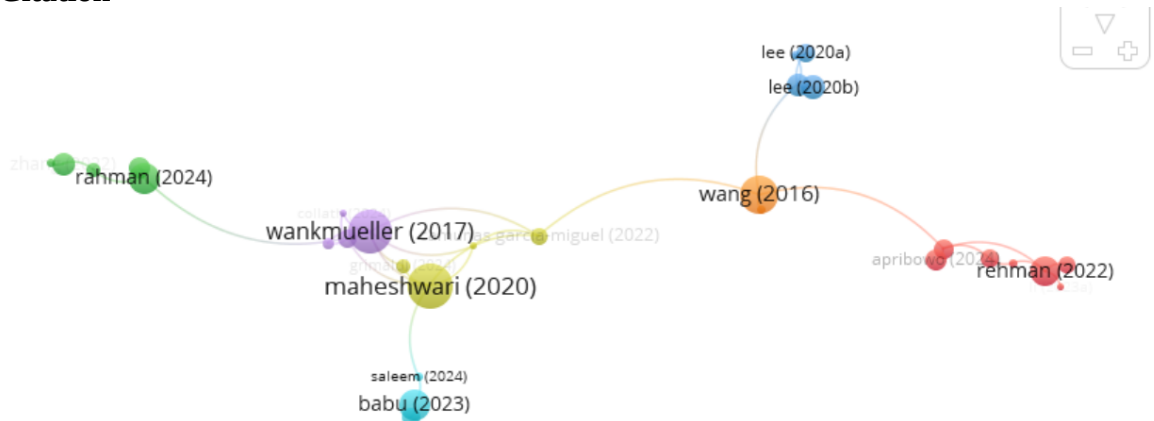


Ilustración 522: Mapa de citación para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

La red muestra que esta es una amplia y muy citada base documental.

20.4.Bibliographic coupling

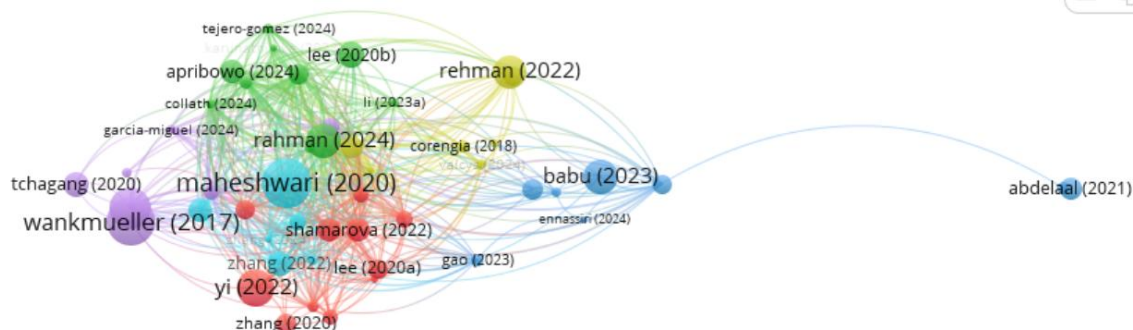


Ilustración 523: Mapa de acoplamiento bibliográfico para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*

La red indica un alto nivel de concordancia entre estudios.

20.5.Co-citation



Ilustración 524: Tarjeta de comentarios para el equipo *Batería de coche eléctrico Y parámetros técnicos*

El mapa muestra que existe una convergencia multidisciplinaria: electroquímica, ingeniería térmica, electrónica de potencia.

Para resumir los resultados del análisis bibliométrico en VOSviewer, a continuación, se presentan tablas resumen en las que se detallan los principales resultados que se han obtenido para los 5 tipos de mapas aplicados a los 20 comandos de búsqueda en la base de datos Web of Science. Con ello, es posible un análisis comparativo organizado de los patrones de colaboración entre ciencia,



estructura temática, impacto documental y grado de madurez en líneas de investigación vinculadas a las baterías comerciales para vehículos eléctricos.

4.2.2.1. Análisis Integrado de VOSviewer para los 20 Comandos

La siguiente tabla resume los resultados de una manera integrada para los veinte comandos ejecutados en la base de datos Web of Science a través del análisis en VOSviewer. Esta tabla sintetiza los principales patrones detectados en los mapas de coautoría, coocurrencia, cita, acoplamiento bibliográfico y cocitación, proporcionando una visión comparativa del comportamiento bibliométrico de cada comando.

Tabla 20: Análisis Integrado de VOSviewer para los 20 Comandos

Comando	Coautoría	Co-ocurrencia	Citación	Acoplamiento bibliográfico	Cocitación
Li-ion battery AND energy density	Red amplia y consolidada	Términos densos sobre densidad energética	Artículos seminales muy citados	Acoplamiento metodológico alto	Escuela consolidada (Goodenough, Tarascon)
Lithium-ion batteries AND battery degradation	Colaboración moderada y diversificada	Clústeres sobre SEI, aging, fading	Alta citación	Acoplamiento fuerte	Dos escuelas dominantes
Li-ion battery AND safety	Red fragmentada, grupos independientes	Dominio de <i>thermal runaway</i>	Alta citación	Buen acoplamiento experimental	Escuela consolidada en seguridad
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Red muy pequeña	Pocos términos, línea residual	Muy baja citación	Acoplamiento débil	Sin escuela científica vigente
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Red sólida centrada en Asia	Términos sobre estabilidad y eficiencia	Alta citación	Acoplamiento fuerte	Base teórica consolidada



Solid-state battery AND commercialization	Red moderada, poco conectada	<i>Solid electrolyte, ionic conductivity</i>	Baja citación (emergente)	Acoplamiento débil	Cocitación mínima
Sodium-ion battery AND performance	Red en crecimiento	Clústeres sobre materiales de sodio	Citación en aumento	Acoplamiento moderado	Escuela emergente
Hybrid battery AND lifetime	Red muy limitada	Términos dispersos	Baja citación	Acoplamiento casi nulo	Sin estructura teórica
Battery efficiency AND charging	Red muy amplia	Algoritmos de carga, eficiencia	Alta citación	Acoplamiento fuerte	Escuela híbrida (control + electroquímica)
Battery lifespan AND Li-ion	Red amplia con subgrupos	<i>Cycle life, aging models</i>	Citación muy alta	Acoplamiento sólido	Escuela consolidada en envejecimiento
Battery thermal management AND vehicle	Red robusta	<i>Cooling system, heat transfer</i>	Alta citación	Acoplamiento fuerte	Escuela consolidada
Battery safety AND thermal runaway	Red media	Fallas térmicas	Citación significativa	Acoplamiento sólido	Escuela estable en seguridad térmica
Battery cost AND electric vehicles	Red media	<i>Cost, supply chain</i>	Citación alta	Acoplamiento moderado	Escuela económica
Battery recycling AND lithium-ion	Red creciente	<i>Recycling, recovery, circular economy</i>	Altísima citación	Acoplamiento fuerte	Escuela consolidada de sostenibilidad



Lithium-sulfur battery AND applications	Red pequeña	<i>Polysulfide, conversion reaction</i>	Citación moderada	Acoplamiento débil	Escuela emergente
Aluminum-air battery AND mobility	Red mínima	Términos escasos	Citación muy baja	Acoplamiento marginal	Sin escuela
Fast charging AND Li-ion battery	Red grande	<i>Fast charging, thermal rise</i>	Citación muy alta	Acoplamiento fuerte	Escuela híbrida consolidada
Energy storage AND battery degradation	Red multidisciplinaria	Términos de almacenamiento y degradación	Alta citación	Acoplamiento fuerte	Escuela interdisciplinaria
Commercial battery AND vehicle	Red amplia	Términos aplicados	Citación media-alta	Acoplamiento moderado	Escuela aplicada
Electric vehicle battery AND technical characteristics	Red muy grande	Rendimiento, eficiencia, seguridad	Alta citación	Acoplamiento muy fuerte	Escuela múltiple consolidada

4.2.2.2. Clasificación de Madurez Científica

En base a los patrones exhibidos en los mapas generados con VOSviewer, a continuación se establece una clasificación de los comandos según su nivel de madurez científica. Esta clasificación tiene en cuenta la escala y densidad de las redes, la citación y el agrupamiento en escuelas de investigación, para distinguir tecnologías consolidadas, emergentes y en decrecimiento.

Tabla 21: Clasificación de Madurez Científica

Nivel de madurez	Comandos incluidos	Interpretación
Alta madurez	Li-ion battery AND energy density; Lithium-ion batteries AND battery degradation; Li-ion battery AND safety; Lithium iron phosphate	Campos altamente desarrollados, con



	battery AND efficiency; Battery efficiency AND charging; Battery lifespan AND Li-ion; Battery thermal management AND vehicle; Battery safety AND thermal runaway; Fast charging AND Li-ion battery; Electric vehicle battery AND technical characteristics	redes densas y fuerte impacto científico
Madurez intermedia	Sodium-ion battery AND performance; Battery cost AND electric vehicles; Battery recycling AND lithium-ion; Energy storage AND battery degradation; Commercial battery AND vehicle	Tópicos con crecimiento sostenido y consolidación progresiva
Emergentes	Solid-state battery AND commercialization; Lithium-sulfur battery AND applications	Sectores con investigación reciente, aún sin cohesión teórica
Declive o marginales	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle; Hybrid battery AND lifetime; Aluminum-air battery AND mobility	Tecnologías con poca actividad científica actual

4.2.2.3. Patrones Bibliométricos Dominantes

A continuación, se presenta la tabla con las principales tendencias transversales en términos bibliométricos derivadas del análisis de mapas generados en VOSviewer. Estos patrones muestran que existe una convergencia de tendencias, entre comandos, en áreas de investigación clave y tecnologías que son poco relevantes en la investigación actual.

Tabla 22: Patrones Bibliométricos Dominantes

Patrón observado	Comandos asociados	Interpretación
Alta densidad de colaboración científica	Li-ion battery AND energy density; Lithium-ion batteries AND battery degradation; Battery efficiency AND charging; Battery lifespan AND Li-ion; Battery thermal management AND vehicle; Fast charging AND Li-ion battery; Electric vehicle battery AND technical characteristics	Campos maduros con fuerte cooperación internacional



Redes fragmentadas o aisladas	Nickel metal hydride battery AND electric vehicle; Solid-state battery AND commercialization; Hybrid battery AND lifetime; Lithium-sulfur battery AND applications; Aluminum-air battery AND mobility	Tecnologías emergentes, experimentales o en declive
Alta citación de artículos clave	Li-ion energy density; Battery degradation; Safety; Thermal management; LFP efficiency; Fast charging	Existencia de literatura base consolidada
Acoplamiento bibliográfico fuerte	Li-ion energy density; Battery degradation; LFP; Thermal management; Fast charging; Lifespan	Alto consenso metodológico
Cocitación consolidada	Li-ion; LFP; Safety; Lifespan; Thermal management	Presencia de escuelas científicas estables
Temas emergentes en crecimiento	Sodium-ion; Recycling; Energy storage	Campos estratégicos futuros
Tecnologías obsoletas	NiMH; Al-air	Relevancia limitada en investigación actual

4.2.2.4. Resumen estratégico del análisis en VOSviewer por comando

Para concluir se muestra una tabla de síntesis, que agrupa en una única afirmación por comando, los resultados más destacados de la matriz de análisis bibliométrico en VOSviewer. Esta síntesis facilita realizar una interpretación global de estos resultados y permite identificar rápidamente el nivel de desarrollo y relevancia científica de cada línea de investigación.

Tabla 23: Resumen estratégico del análisis en VOSviewer por comando

Comando	Conclusión sintética del análisis en VOSviewer
Li-ion battery AND energy density	Línea de investigación altamente madura, con fuerte colaboración científica y base teórica consolidada.



Lithium-ion batteries AND battery degradation	Campo crítico y ampliamente estudiado, enfocado en la comprensión y mitigación del envejecimiento de las baterías.
Li-ion battery AND safety	Área prioritaria para la industria, centrada en la prevención de fallas térmicas y mejora de la seguridad.
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	Tecnología de baterías de hidruro metálico de níquel y vehículos eléctricos con poca relevancia actual y producción científica de vanguardia limitada.
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Tecnología consolidada destacada por su estabilidad térmica y eficiencia en aplicaciones comerciales.
Solid-state battery AND commercialization	Nueva línea con alto potencial, aún en fase experimental y con baja consolidación científica.
Sodium-ion battery AND performance	Una nueva alternativa al litio con un crecimiento avanzado y un enfoque en la reducción de costos.
Hybrid battery AND lifetime	Un tema menor con poca coherencia temática y poco impacto científico.
Battery efficiency AND charging	Campo prioritario, centrado en la optimización de los procesos de carga y la eficiencia energética.
Battery lifespan AND Li-ion	Una sólida línea de investigación destinada a predecir y extender la vida útil de la batería.
Battery thermal management AND vehicle	Un área de actuación clave para los vehículos eléctricos con redes de investigación consolidadas.
Battery safety AND thermal runaway	La investigación se centró en mitigar los riesgos críticos asociados con la falla térmica.
Battery cost AND electric vehicles	Una línea estratégica que analiza la viabilidad económica y la masificación del vehículo eléctrico.
Battery recycling AND lithium-ion	Un campo en expansión impulsado por la sostenibilidad y la economía circular.
Lithium-sulfur battery AND applications	Una tecnología experimental con potencial a largo plazo incluso sin madurez científica.
Aluminum-air battery AND mobility	Tecnología obsoleta con mínima actividad investigadora actual.



Fast charging AND Li-ion battery	Línea prioritaria para la industria enfocada en reducir el tiempo de carga y reducir la degradación.
Energy storage AND battery degradation	Investigación interdisciplinaria rigurosa que vincula el almacenamiento de energía y el envejecimiento de las baterías.
Commercial battery AND vehicle	Metodología para el rendimiento en el mundo real de baterías de vehículos eléctricos comerciales..
Electric vehicle battery AND technical characteristics	Línea transversal y ampliamente desarrollada que integra múltiples aspectos técnicos de las baterías para VE.

4.3. Análisis de los comandos bibliométricos en SciELO

El estudio bibliométrico realizado en la base de datos SciELO representa un factor fundamental para la caracterización regional de la producción científica relacionada con baterías comerciales para vehículos eléctricos. En similitud con las bases internacionales Scopus, Web of Science e IEEE Xplore empleadas en este análisis, SciELO brinda la posibilidad de examinar la actividad investigativa en Iberoamérica y Latinoamérica, donde se detectan contribuciones científicas principalmente de Brasil, México, Chile, Colombia y otros países de la zona. Esto resulta relevante para evaluar el conocimiento en contextos donde la investigación sobre almacenamiento energético y movilidad eléctrica aún se encuentra en consolidación. El análisis de SciELO permite identificar los tipos de baterías y las tecnologías estudiadas con mayor recurrencia dentro del ámbito regional.

Según lo señalado en el Capítulo III, durante la etapa metodológica se contempló en un principio incorporar Latindex como una segunda base regional. Sin embargo, técnicamente se concluyó que esta plataforma no cumple con los requisitos necesarios para realizar un análisis bibliométrico exhaustivo. Al ser la tesis un estudio bibliométrico, Latindex no actúa como una base de datos científica con metadatos disponibles para descarga directa, ni proporciona la existencia de datos estructurados que permitan la elaboración de indicadores bibliométricos como coautorías, áreas temáticas, distribución geográfica de las publicaciones o series de tiempo. Por esta razón explicada también en la sección metodológica correspondiente Latindex fue descartada del análisis cuantitativo y se conservó únicamente SciELO como base regional confiable, indexada y con suficiente estandarización de datos para procedimientos métricos

4.3.1. Análisis general de los comandos bibliométricos aplicados en SciELO

El análisis de los comandos bibliométricos ejecutados en SciELO reveló un número considerablemente menor en comparación con las bases de datos internacionales, lo cual era previsto debido al carácter regional de esta plataforma y a la menor actividad investigadora sobre movilidad eléctrica en América Latina. Pero los



resultados son importantes porque ayudan a revelar algunas brechas, conocidas como brechas temáticas, áreas de desarrollo y tendencias de investigación que comienzan a surgir en el campo. Se aplicaron estrictamente los criterios metodológicos descritos en el Capítulo III: intervalo fijo de 20 años, artículos científicos revisados por pares, exclusión de duplicados, limitación del español e inglés y refinamiento según relevancia temática. Esto permitió obtener un conjunto de publicaciones consistente para el análisis por comandos, aunque más reducido en comparación con Scopus y Web of Science.

La **Tabla 4** previamente presentada en el capítulo III resume los resultados generales tras aplicar el filtro metodológico a SciELO, y evidencia que la producción regional se concentra en temas de energía, ingeniería, materiales y gestión ambiental, más que en aspectos estrictamente electroquímicos avanzados y procedimientos métricos

4.3.1.1. Volumen general y comportamiento de SciELO

La base de datos SciELO presenta un volumen de resultados notablemente inferior al observado en Scopus o Web of Science. No obstante, este comportamiento se explica por la naturaleza regional de la base y por el hecho de que la literatura latinoamericana dedica menos esfuerzos a la investigación avanzada en electroquímica de baterías y más a aplicaciones energéticas, gestión ambiental, movilidad eléctrica y energías renovables. Esta tendencia coincide con la justificación metodológica donde se determinó excluir Latindex y conservar SciELO como base regional válida.

4.3.1.2. Comandos con mayor cantidad de resultados

- **Battery efficiency** (59 documentos filtrados)

Es el comando con más datos tras el filtro general. Estos documentos tratan sobre el gasto de energía y de cuán bien se usan las baterías. También de unir investigaciones de baterías con nuevas fuentes de energía, y sobre cómo manejar la energía. Este comando muestra que lo que se hace en Latinoamérica es de tipo práctico.

- **Lithium battery** (42 documentos filtrados)

Este dato mostró que las pilas de litio son las más estudiadas en la región, pero su trato es menos técnico que en otros países. Casi todos los documentos con este comando tratan de:

- Movilidad urbana
- Sistemas de energía con pilas de litio
- Ver qué efectos dan al medio ambiente guardar energía en sitios fijos

- **Electric vehicle battery** (30 documentos)



Este comando tiene un número exacto. No bajó al usar el filtro, esto enseña que todo lo encontrado es de los últimos veinte años. Además, señala que hay más interés en la electromovilidad.

- **Hybrid battery** (27 documentos filtrados)

Este comando se refiere a sistemas que unen el combustible con la batería, o el viento con la batería. No habla de mezclas de tecnología como tal.

Los puntos clave y resultados generales de estos comandos permitieron establecer las siguientes muestras:

- **Publicaciones por año**

La curva de publicaciones crece desde 2015 dado que los aumentos más grandes se ligan al interés de la región por la movilidad limpia y usar energía nueva.

- **Publicaciones por autores e instituciones**

Los centros o instituciones que más publican están en:

- Brasil
- México
- Colombia
- Chile

Esto coincide con los países con más fuerza de publicación en ciencia de energía y cosas materiales.

- **Publicaciones por país**

Brasil tiene una tendencia creciente en la lista, seguida por México y Chile, mientras que Ecuador tiene muy poco aporte, esto indica que se debe mejorar la investigación y ciencia propia en vehículos eléctricos.

- **Publicaciones según el tipo de documento**

Las publicaciones más comunes son artículos y revisiones teóricas.

- **Publicaciones por área temática**

Los campos con más publicaciones son:

- La ingeniería
- Las energías renovables
- El medio ambiente
- La electricidad y sistemas electrónicos

Áreas como química, electroquímica, o ciencia de materiales se ven con menos proporción.



4.3.1.3. Tecnologías específicas con baja producción (temas emergentes o ausentes)

Tal como se ve en la **Tabla 4** del capítulo III, SciELO muestra una cantidad bastante pequeña para descubrimientos pioneros, y cosas con ideas químicas nuevas:

Tabla 24: *Tecnologías específicas con baja producción*

Comando	Resultados filtrados
Solid-state battery	3
Lithium-sulfur battery	1
Battery fast charging	1
Battery recycling EV	1
Battery thermal management	2
Battery degradation	8

Estos números indican que en la región todavía no crea estudios firmes en el campo de la electroquímica que va más allá, algo que concuerda con investigaciones internacionales.

Que no haya resultados para “Aluminum-air battery” es muy notable, pues muestra que esta tecnología no tiene representación en las publicaciones iberoamericanas.

4.3.1.4. Tendencias temáticas identificadas

Del grupo total de comandos analizados se aprecian cuatro tendencias características de la región:

- **Enfoque aplicado más tecnológico**
Los comandos con mejores resultados (battery efficiency, lithium battery, EV battery) tienen que ver con:
 - Eficiencia energética
 - Políticas de movilidad
 - Integración de las fuentes de energía
 - Análisis del medio ambiente
- **Ausencia de investigación electroquímica profunda**
Los comandos con una a tres respuestas señalan falta de:
 - Materiales avanzados



- Química de electrolitos
 - Optimización de los extremos de la batería (cátodos/ánodos)
 - Otras baterías diferentes al litio
- **Creciente interés en movilidad eléctrica**
Comandos como “Electric vehicle battery” van subiendo sin parar desde 2015, lo cual refleja el crecimiento de movilidad limpia en las ciudades de la región.
 - **Pocas investigaciones sobre reutilización y segunda vida de las baterías**
Latinoamérica presenta muy poca producción de publicaciones sobre reciclaje de baterías de vehículos eléctricos el único hallazgo es un descubrimiento clave para futuras investigaciones.

4.3.1.5. SciELO como análisis de base regional dentro del estudio

El análisis en la Tabla 4 confirma por qué SciELO fue la base de datos regional final elegida, mientras que Latindex fue descartada: SciELO permite búsquedas por artículos, palabras clave y filtros avanzados. SciELO proporciona metadatos estructurados útiles para bibliometría. Latindex indexa revistas completas, no artículos, y no genera resultados relevantes para el tema. SciELO brindó información fundamental para observar el estado de la región en términos de tecnología y nuevas tendencias en baterías de vehículos eléctricos. De esta manera, SciELO no compite con bases internacionales, sino que las complementa, enriqueciendo la perspectiva de la investigación.

4.3.2. Análisis en VOSviewer de los comandos bibliométricos de SciELO

Para dar respuesta al objetivo y completar el análisis descriptivo la tabulación ya realizada en SciELO, se importaron los registros exportados en formato .ris al software VOSviewer, a efectos de analizar visualmente las relaciones temáticas entre los documentos recuperados. Si bien son pocos los artículos por comando que se generan, los mapas dejan ver vínculos conceptuales, áreas que coinciden en términos e incluso potenciales núcleos investigativos en la región. A continuación, se muestran los mapas más relevantes y su interpretación.

1. Li-ion battery
 - 1.1. Co-authorship

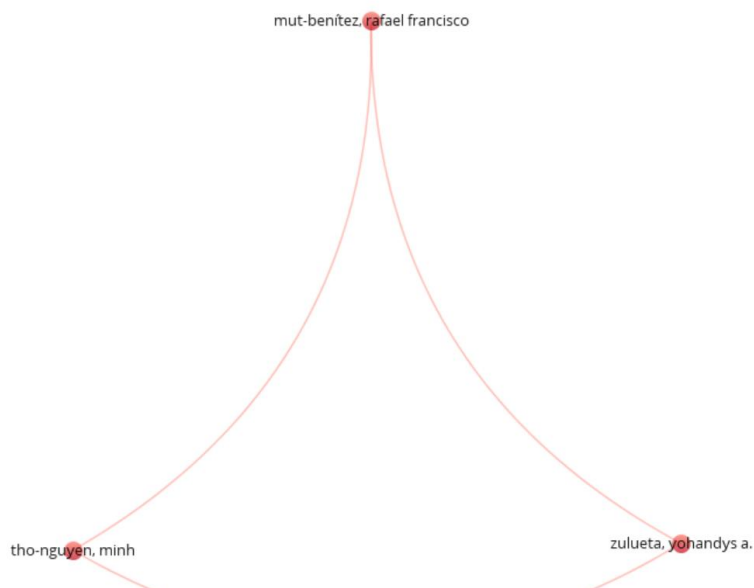


Ilustración 525: Mapa de coautoría del comando Li-ion battery

Se muestra una red de tamaño pequeño o mediano, con la colaboración concentrada en unos pocos grupos, lo que refleja que el litio está efectivamente disponible regionalmente, pero no al nivel de masificación de Scopus y WoS.

1.2.Co-occurrence



Ilustración 526: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Li-ion battery



El mapa demuestra que está dominado por términos genéricos relacionados con baterías de litio y aplicaciones energéticas, el mapa suele clasificar aplicación y uso antes que electroquímica avanzada, lo cual es coherente con la perspectiva aplicada para la región.

2. Commercial battery

2.1.Co-authorship

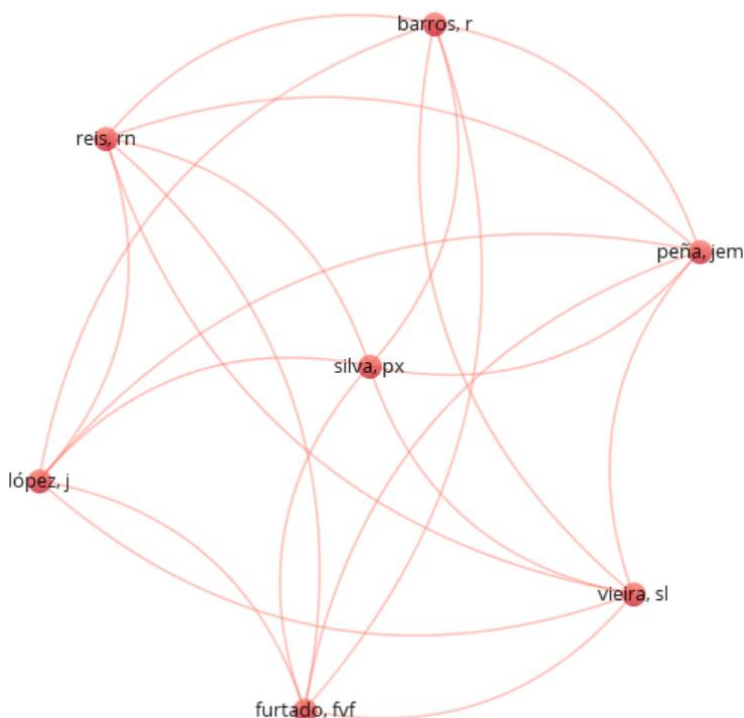


Ilustración 527: Mapa de coautoría del comando Commercial battery

Este es un mapa más robusto que las tecnologías en fase inicial con enlaces moderados. Normalmente refleja la producción distribuida dentro de ingeniería o energía.

2.2.Co-ocurrence

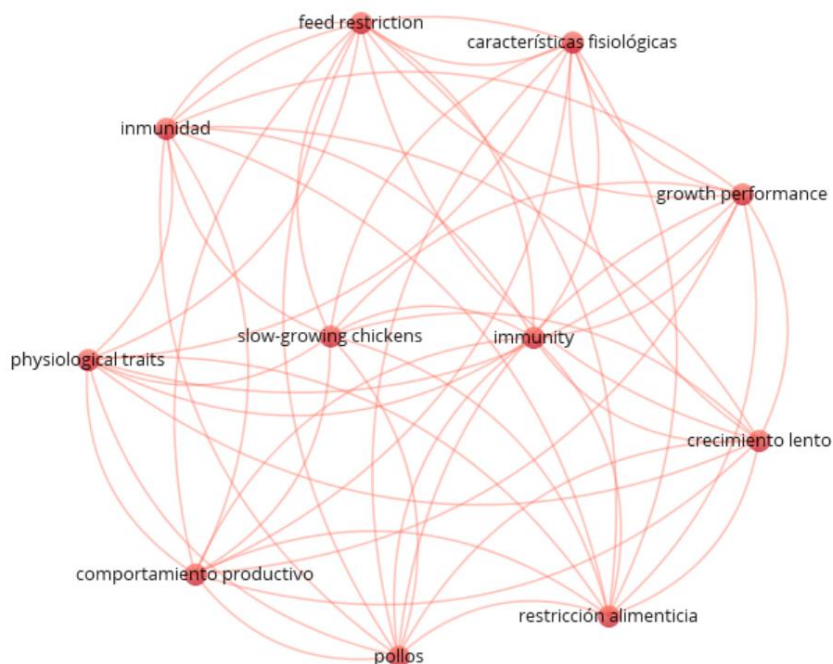


Ilustración 528: Mapa de coocurrencia de palabras clave de un comando de batería comercial

En el mapa se muestran las condiciones de funcionamiento, usos y contexto energético; se interpreta como una línea de techo útil para identificar subtemas regionales dominantes.

3. Electric vehicle battery

3.1.Co-authorship

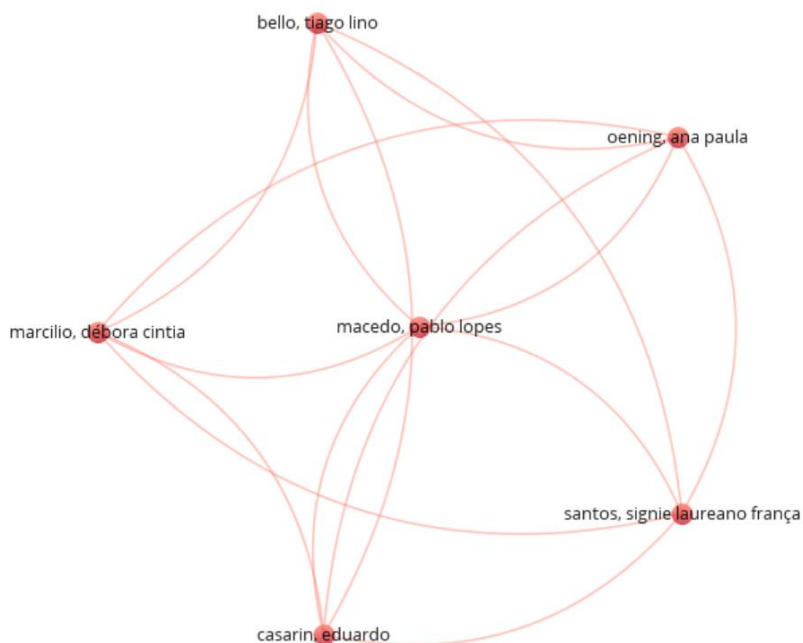
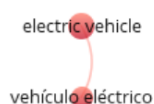


Ilustración 529: Mapa de coautoría del comando Electric vehicle battery

La ilustración indica un medio tamaño de red, que muestra el crecimiento de la investigación regional relacionada con la movilidad eléctrica en particular desde 2015.

3.2.Co-occurrence



electricvehicles

Ilustración 530: Mapa de relevancia de palabras clave del equipo de baterías de vehículos eléctricos

Aquí, se muestra que los clústeres están orientados hacia la adopción y aplicación en entornos aplicados, energía y rendimiento en lugar de materiales avanzados, lo que sugiere una tendencia regional hacia la integración tecnológica.

4. Lithium battery

4.1.Co-authorship



Ilustración 531: Mapa de coautoría del comando *Lithium battery*

Esta es de las redes más grandes en SciELO, su amplitud se debe a que el término es general y tiene múltiples aplicaciones.

4.2.Co-occurrence

lithium battery

lithium ion battery

lithium-ion battery

Ilustración 532: Mapa clave de comando de batería de litio con mapa de eventos

Se muestra un mapeo con varios subgrupos dispersos, como almacenamiento, energía y aplicaciones, que son útiles para identificar zonas de transición hacia tendencias de reciclaje, seguridad y gestión.



5. Solid-state battery

5.1.Co-authorship

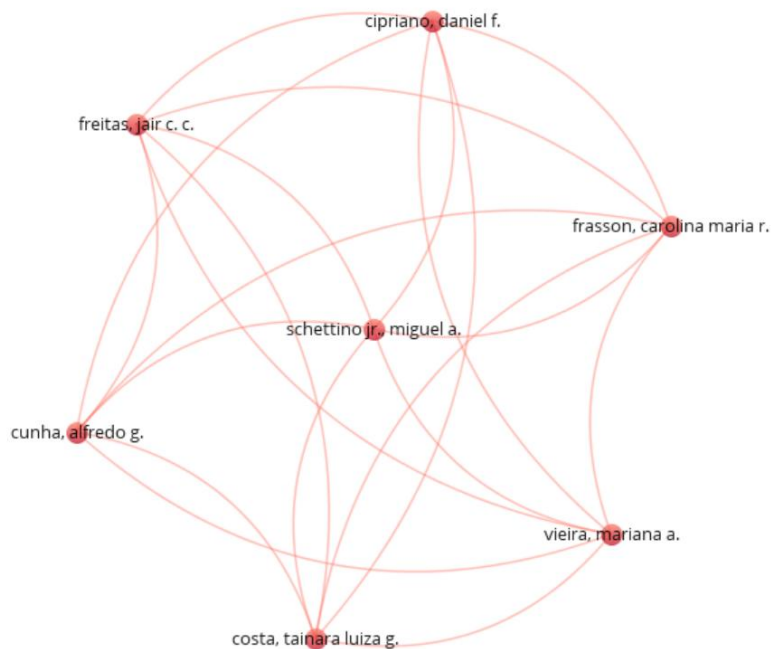


Ilustración 533: Comando de batería de estado sólido con tarjeta de autor

Se especifica una red mínima. La mala conexión refleja nuevas investigaciones en el campo.

5.2.Co-occurrence

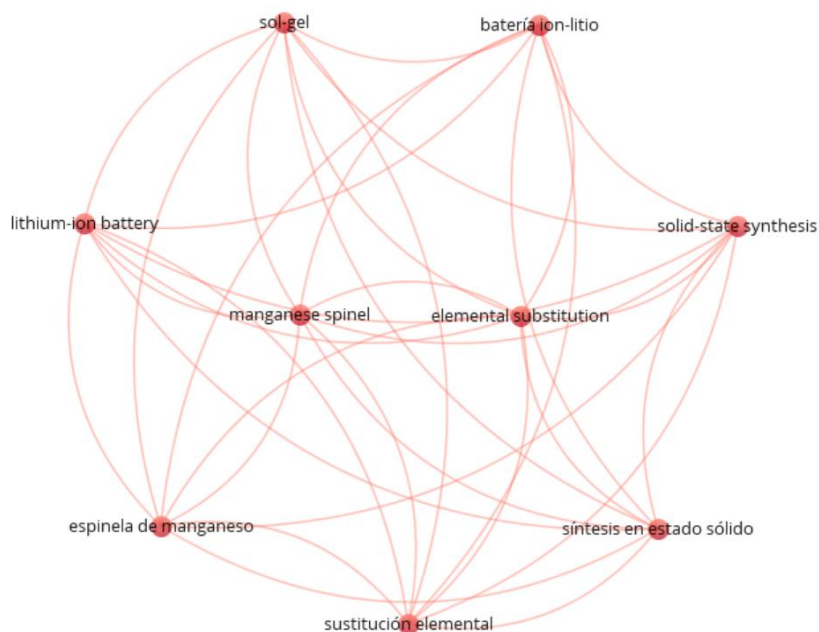


Ilustración 534: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Solid-state battery

En la ilustración se presentan palabras poco abundantes y conectadas, se entiende como una línea de desarrollo emergente e incipiente, relacionada con la falta de una electroquímica profunda y un bajo output en materiales avanzados.

6. Nickel metal hydride battery

6.1.Co-authorship

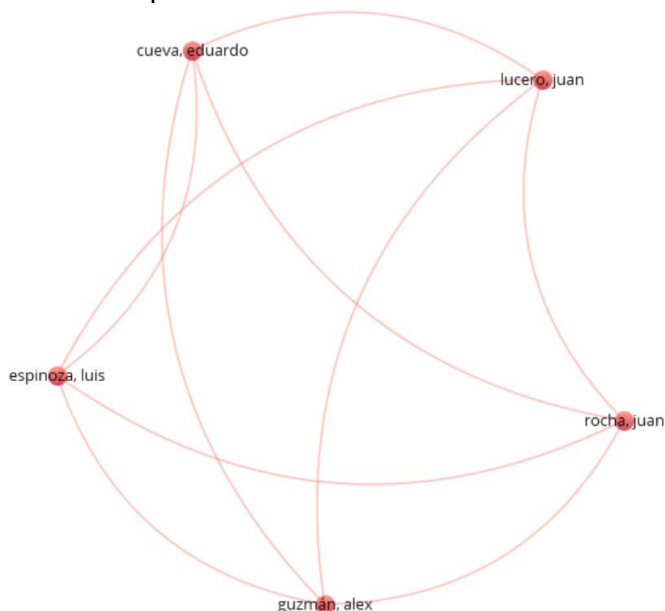


Ilustración 535: Mapa de coautoría del comando Nickel metal hydride battery



Se muestra una red pequeña, típico de un tema de menor prioridad en este momento.
6.2.Co-occurrence

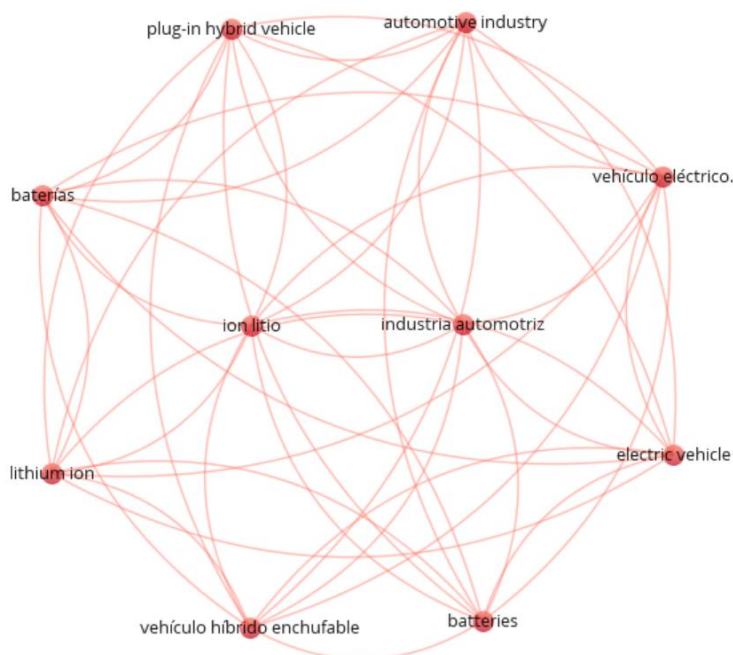


Ilustración 536: Mapa de aparición de palabras clave del equipo de baterías de hidruro metálico de níquel

Se demuestra una variación temática limitada, lo que indica una tecnología de bajo impulso en los estudios regionales en comparación con las alternativas de litio.

7. Sodium battery

7.1.Co-authorship

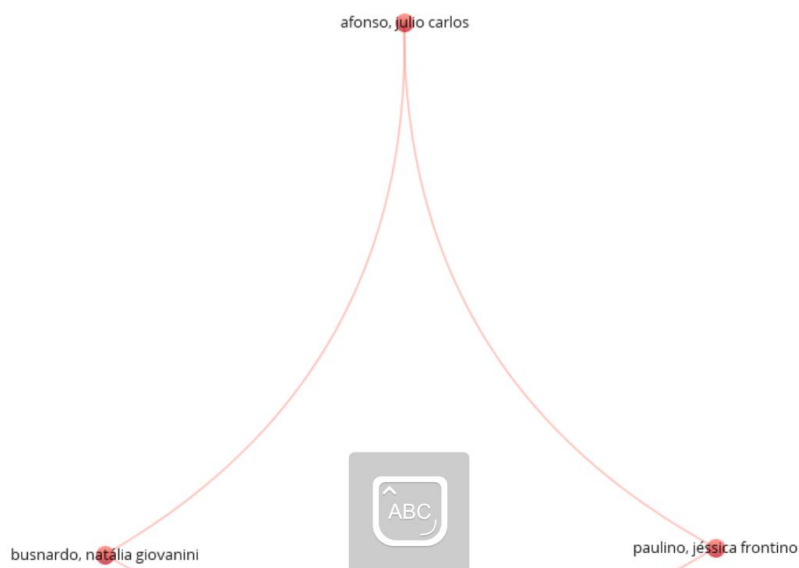


Ilustración 537: Mapa de coautoría del comando Sodium battery



La ilustración muestra una red a pequeña escala, pero con posibilidad de micronúcleos, se interpreta como una línea en crecimiento lento.

7.2.Co-occurrence

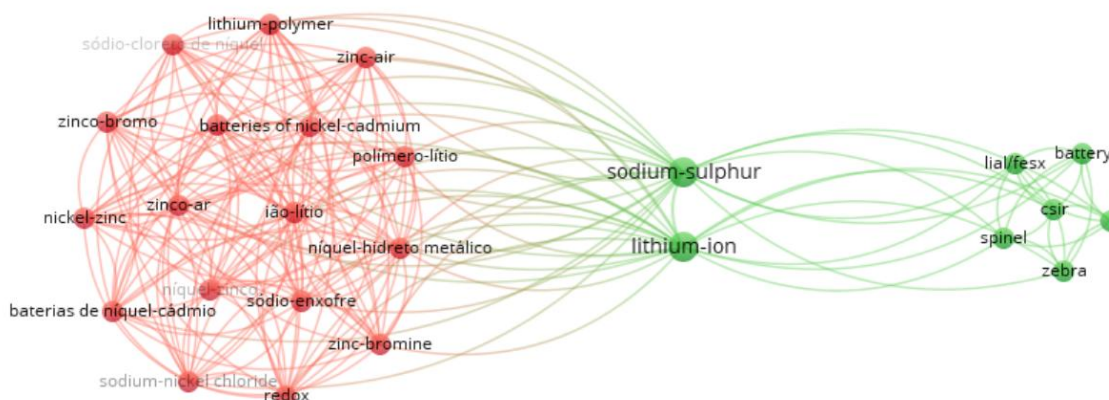


Ilustración 538: Palabra clave de comando de batería de sodio con mapa de eventos

Este mapa muestra que existen condiciones de almacenamiento y alternativas al litio. Esto se considera una señal alcista, aunque aún no se ha establecido una masa crítica en la región.

8. Hybrid battery

8.1.Co-authorship



Ilustración 539: Mapa de coautoría del comando Hybrid battery

Esta es una red media que representa una continuidad por aplicaciones en sistemas de transporte y híbridos.

8.2.Co-occurrence

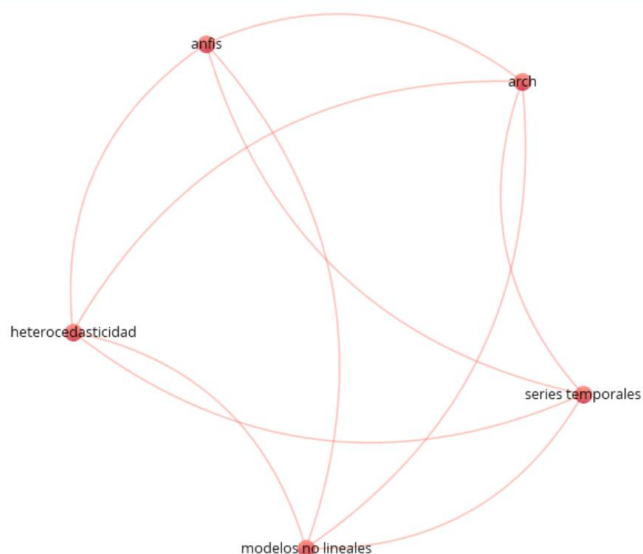


Ilustración 540: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Hybrid battery

Se mira la presencia de clústeres dirigidos a la integración energética y al rendimiento, consistente con el enfoque regional tecnológico que se aplicó en las tendencias de descripción del trabajo.

9. Battery efficiency

9.1.Co-authorship

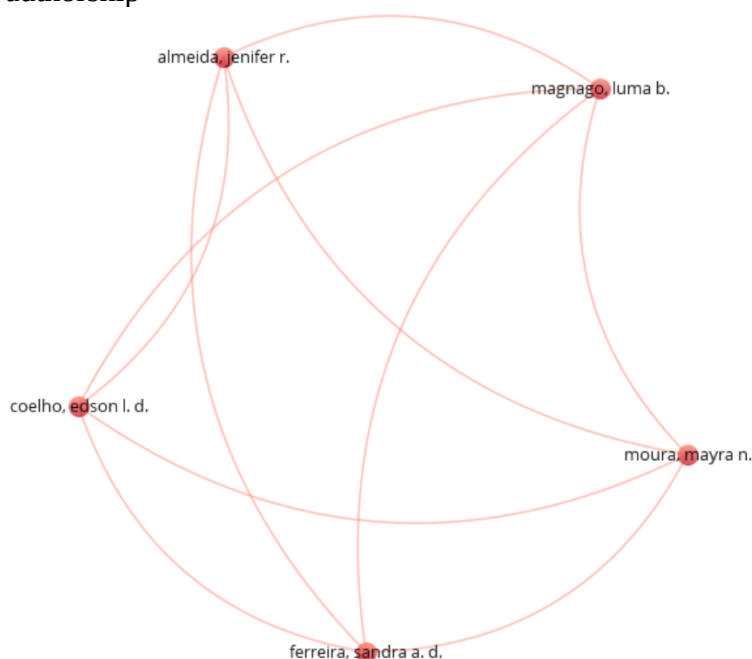


Ilustración 541: Mapa de coautoría del comando Battery efficiency

Esta red podría señalar a la eficiencia como un potente eje regional.



9.2.Co-occurrence

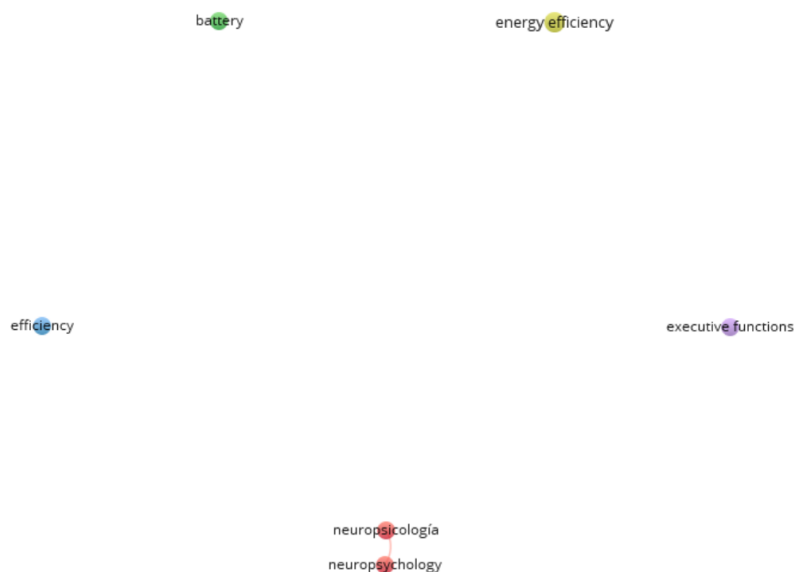


Ilustración 542: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery efficiency

Se presentan términos en relación con el uso y gestión de la energía y la eficiencia, lo que sigue siendo para la región una tendencia de dar la prioridad al rendimiento y a la integración de la energía.

10. Battery lifetime

10.1.Co-authorship

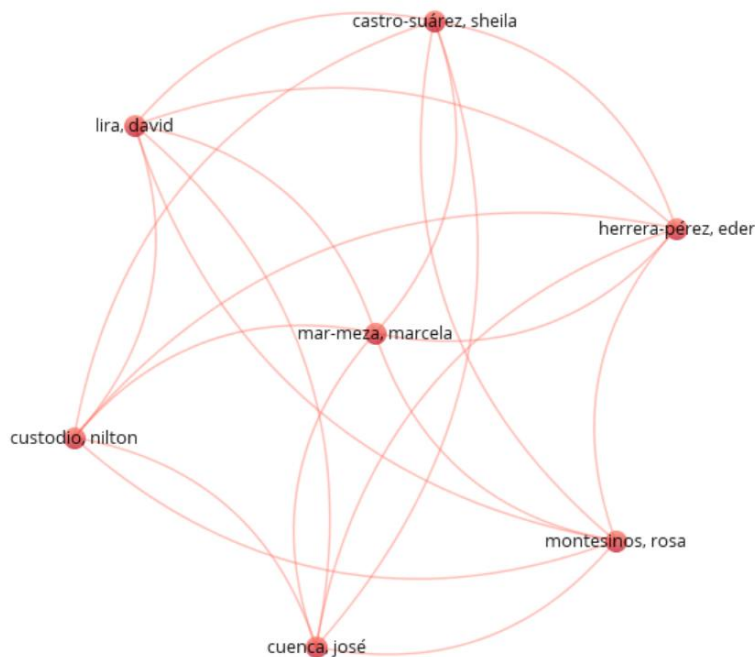


Ilustración 543: Mapa de coautoría del comando Battery lifetime

Como se evidencia en la ilustración hay una intensidad media. Suele estar relacionada con estudios de degradación/vida útil desde perspectivas de ciencias aplicadas.

10.2. Co-occurrence



Ilustración 544: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery lifetime

Tal como se indica en la figura existen términos dispersos, pero a su vez, se combinan términos de vida útil, desempeño y operación, actúa como un enlace a líneas críticas de degradación y gestión térmica.

11. Battery safety

11.1. Co-authorship

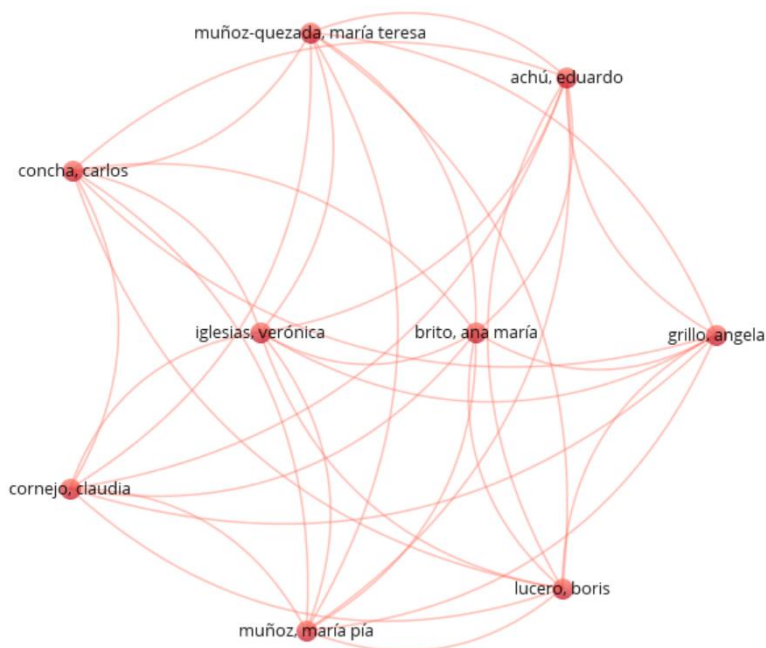


Ilustración 545: Mapa de coautoría del comando Battery safety

Esta es una red media, la seguridad tiende a agruparse en paneles de ingeniería/gestión de riesgos en lugar de la avanzadilla de la electroquímica.

11.2. Co-ocurrence

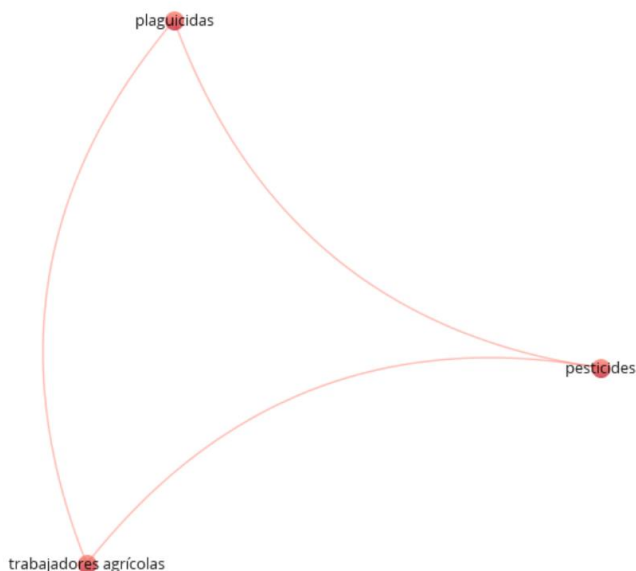


Ilustración 546: Mapa de coocurrencia de palabras clave del comando de seguridad de la batería

Esta ilustración muestra clústeres interconectados con confiabilidad y tolerancia a fallas; muestra un importante interés regional en la confiabilidad.



12. Energy density battery

12.1. Co-authorship

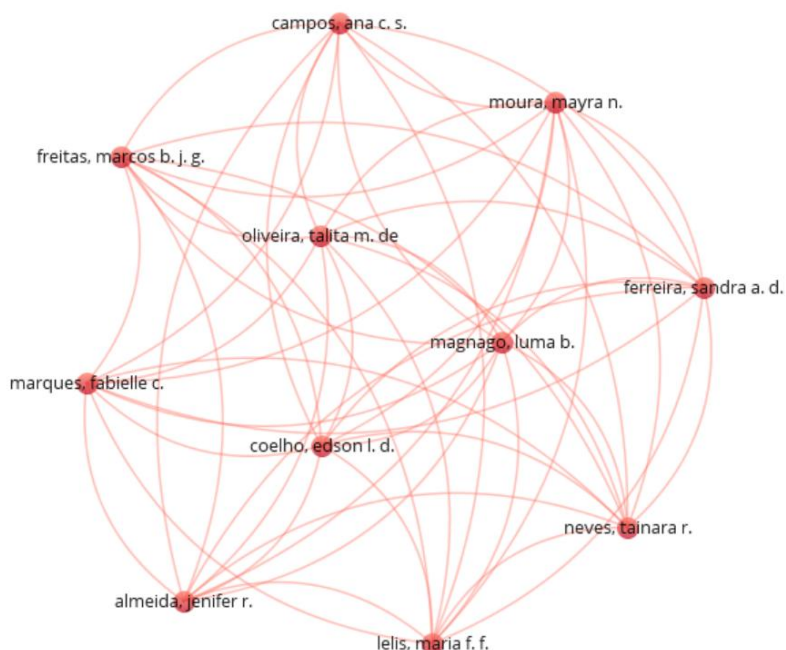


Ilustración 547: Mapa de coautoría del comando Energy density battery

Se ilustra una pequeña red cuyo porcentaje de densidad energética exige especialización y, por tanto, tiene menos colaborativa en SciELO.

12.2. Co-occurrence



Ilustración 548: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Energy density battery

Se muestran términos de desempeño en rendimiento y almacenamiento, su baja amplitud agrava la brecha regional en ingeniería avanzada de materiales.

13. Lithium-sulfur battery

13.1. Co-authorship

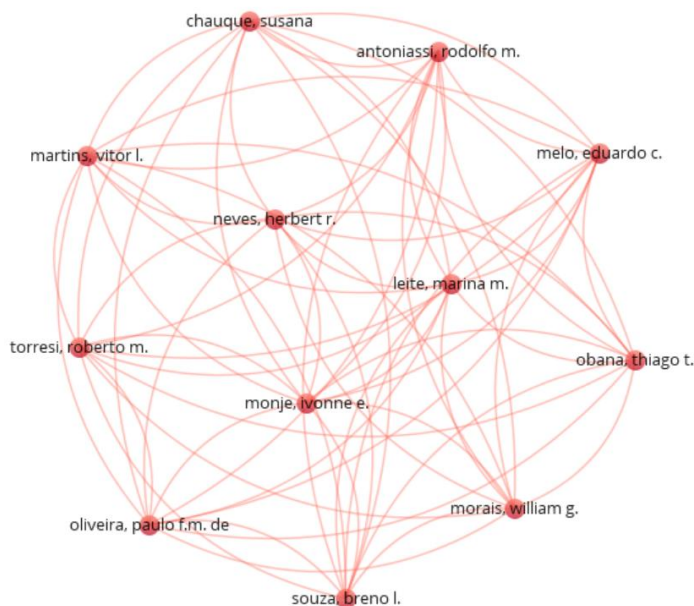


Ilustración 549: Mapa de coautoría del comando Lithium-sulfur battery

El comando analizado en este mapa es casi desconocido, evidencia de tema que casi ni apareciera en SciELO.

13.2. Co-ocurrence



Ilustración 550: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del equipo de baterías de litio-azufre

Un mapa muy reducido, las interconexiones se interpretan como una señal temprana sin consolidación regional.



14. Aluminum-air battery

14.1. Co-authorship

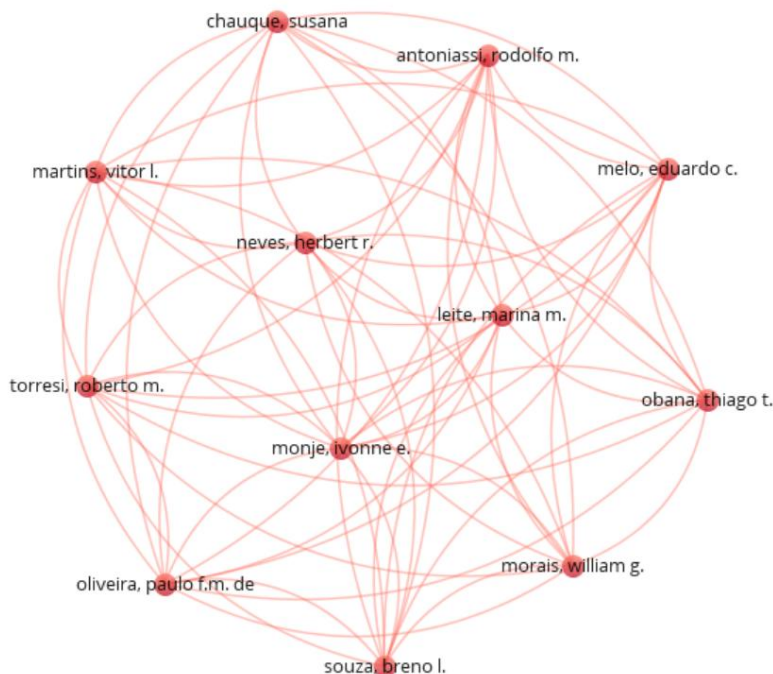


Ilustración 551: Mapa de coautoría del comando Aluminum-air battery

Se evidencia que la falta de documentos impide la formación de una red fuerte, pero, sin embargo, se muestra una interconexión. Esto se interpreta como una falta de representación regional para esta tecnología.

14.2. Co-occurrence

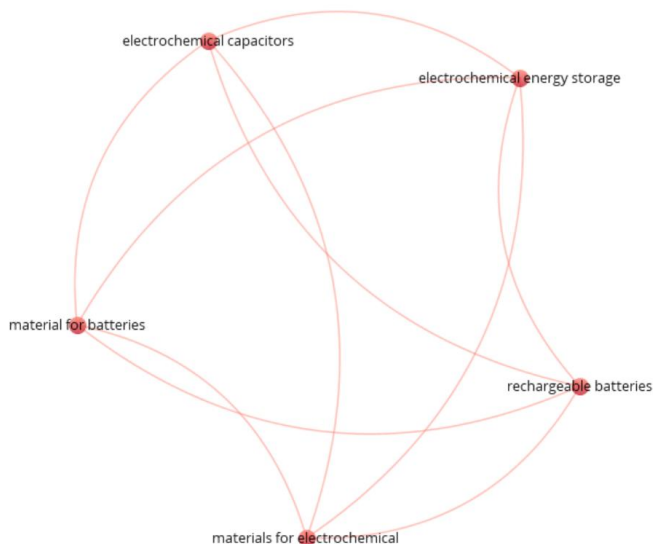


Ilustración 552: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Aluminum-air battery



Se evidencia que la falta de documentos impide la formación de una red fuerte, pero, sin embargo, se muestra una interconexión. Esto se interpreta como una falta de representación regional para esta tecnología.

15. Battery thermal management

15.1.Co-authorship

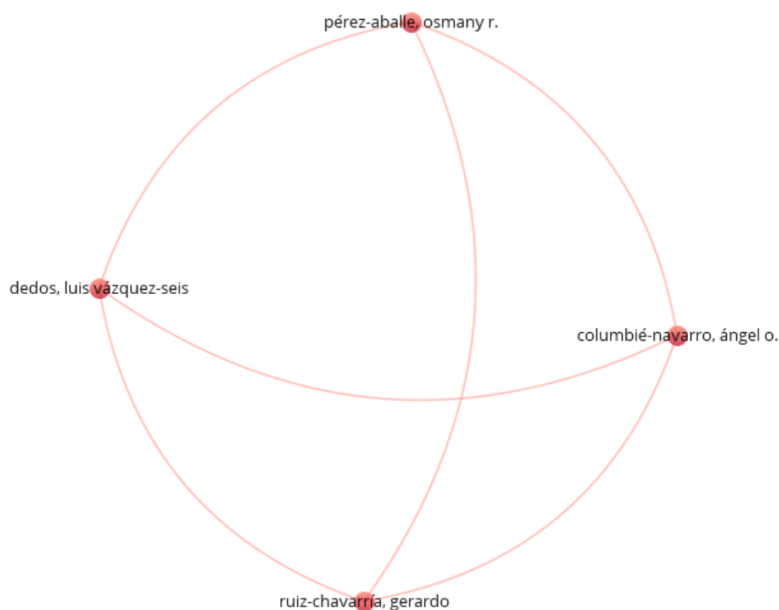


Ilustración 553: Mapa de coautoría del comando Battery thermal management

Mapa con una interconexión mínima que indica una línea regional importante pero aún poco desarrollada.

15.2.Co-occurrence

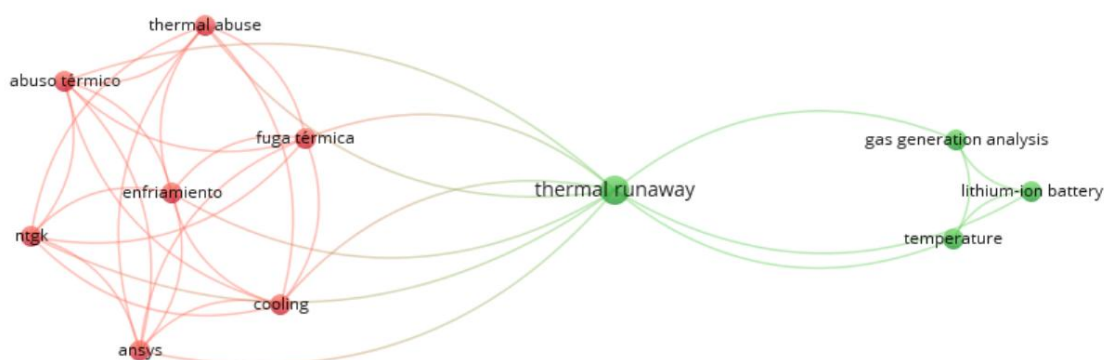


Ilustración 554: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery thermal management

Esta red es importante porque la hidratación de la piel es un factor protector frente a la alteración de la barrera cutánea y la temperatura de la piel. Pocos términos y



enlaces se consideran en un tema crítico para el control de la salida en VE porque la gestión térmica es esencial en EV. Sin embargo, es muy baja en SciELO.

16. Battery fast charging

16.1.Co-authorship

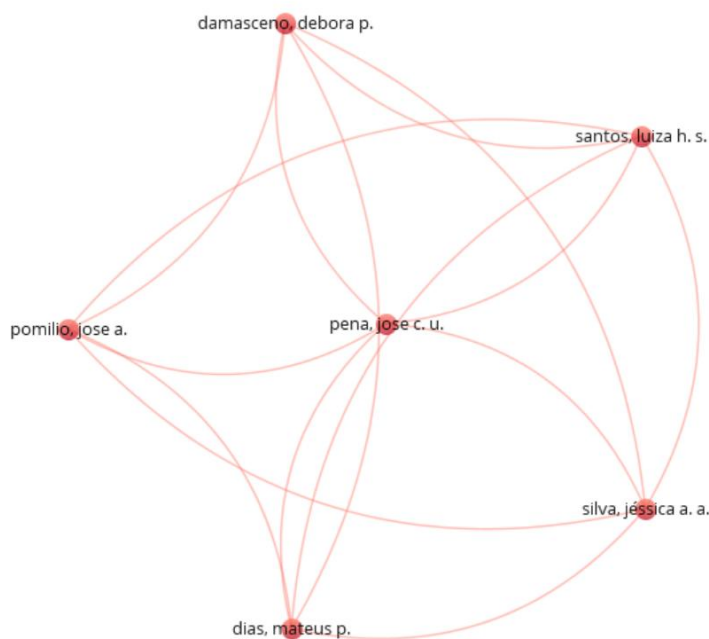


Ilustración 555: Mapa de coautoría del comando Battery fast charging

Se evidencia en la ilustración casi nula la densa red por escasa producción.

16.2.Co-occurrence

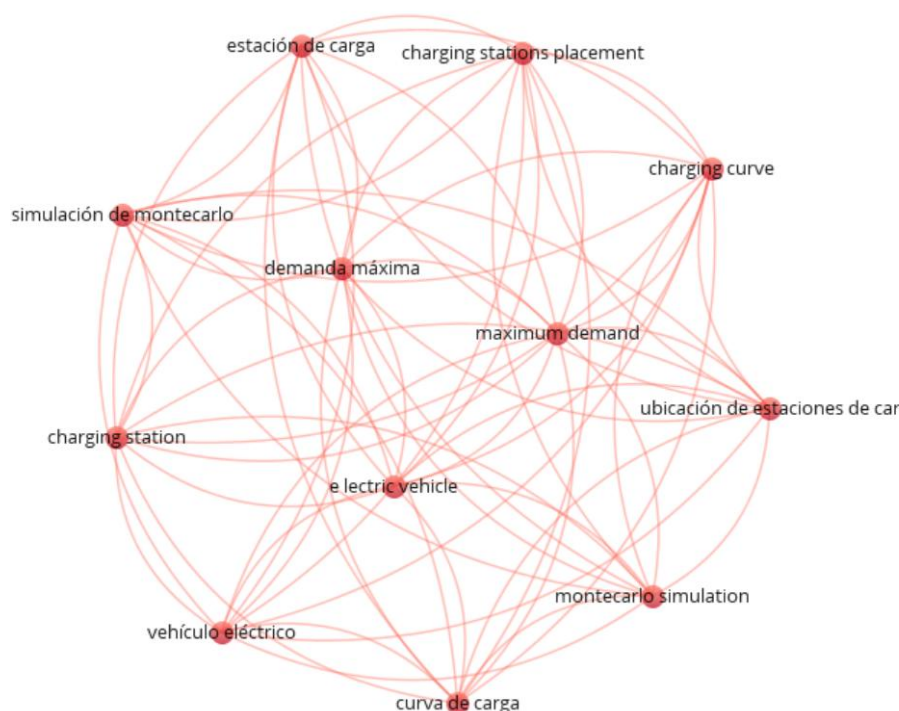


Ilustración 556: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery fast charging

El mapa es pequeño, refleja la prioridad industrial a nivel mundial, aunque todavía con poca evidencia a nivel regional, es considerado como un nicho de investigación en desarrollo.

17. Battery recycling electric vehicles

17.1. Co-authorship

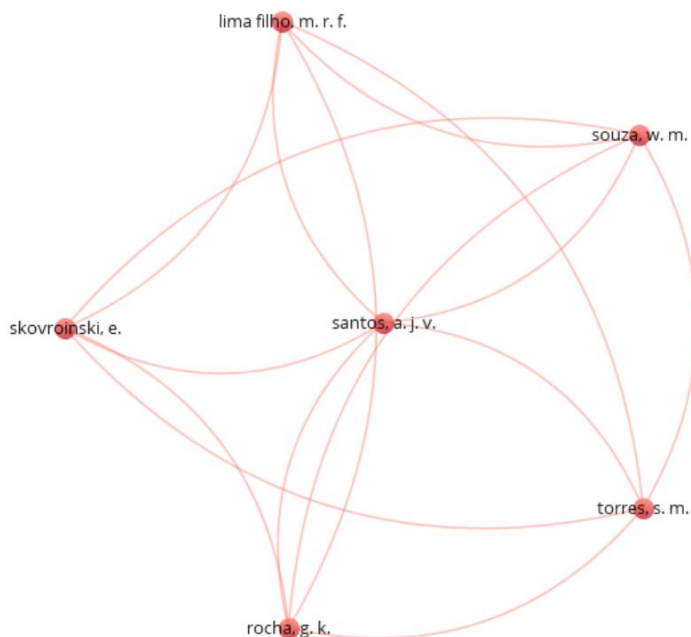


Ilustración 557: Mapa de coautoría del comando *Battery recycling electric vehicles*

Este mapa se alinea con la conclusión de que hay de poca salida regional sobre el reciclaje y segunda vida de las baterías.

17.2. Co-occurrence

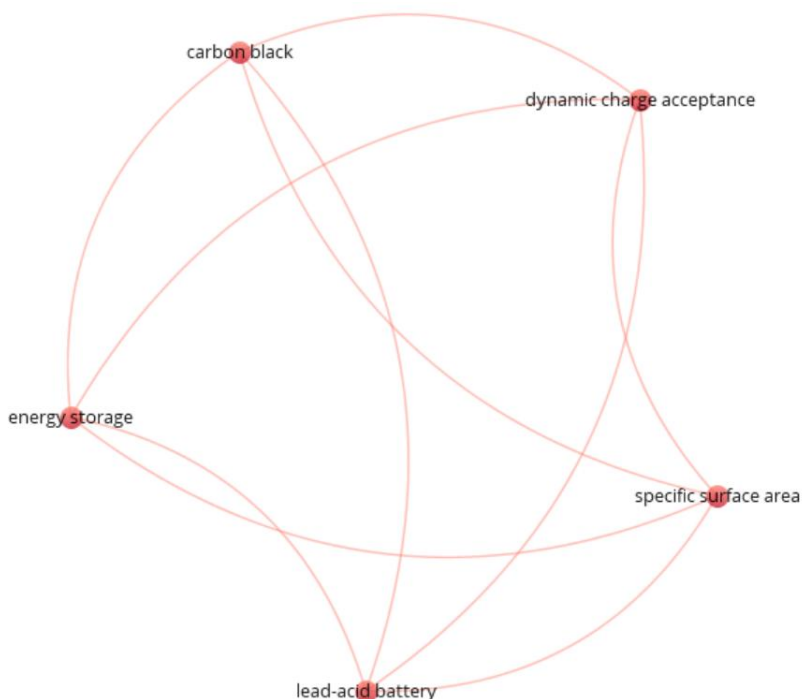


Ilustración 558: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando *Battery recycling electric vehicles*



El mapa presenta varios términos, aun así, es una clara señal de la economía circular como tendencia emergente.

18. Battery cost electric vehicles

18.1. Co-authorship



Ilustración 559: Mapa de coautoría del comando Battery cost electric vehicles

Los clústeres tienden a ser pequeños y dispersos, es típico cuando el enfoque es económico o de mercados.

18.2. Co-occurrence

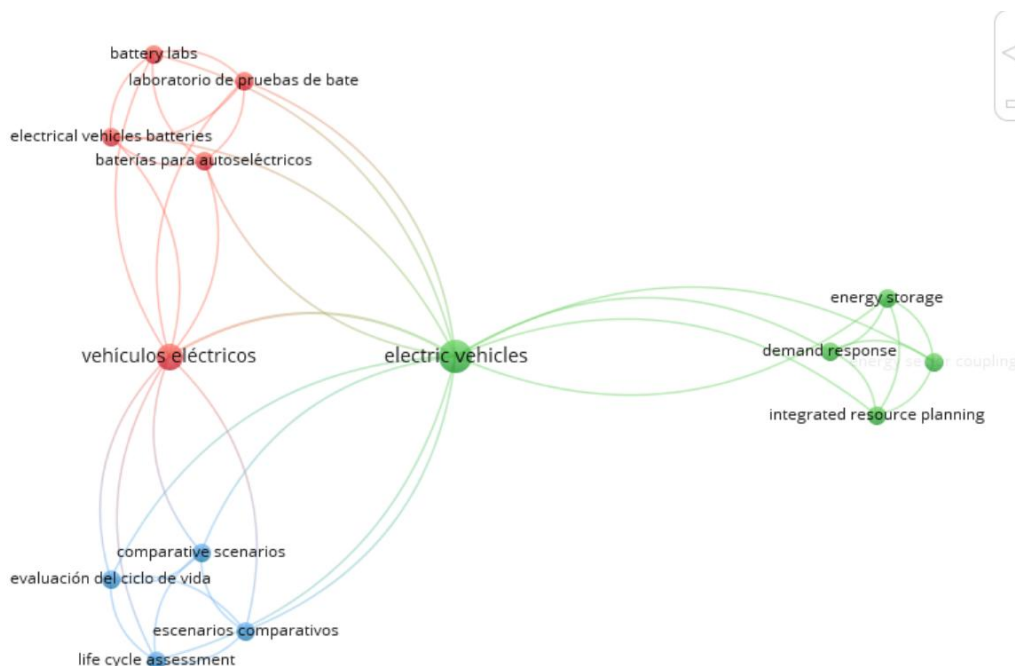


Ilustración 560: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando Battery cost electric vehicles

Este mapa está enfocado en los costes, la adopción y la escalabilidad, actúa como tendencia transversal de la viabilidad económica y no tanto tecnológica.

19. Battery degradation

19.1. Co-authorship

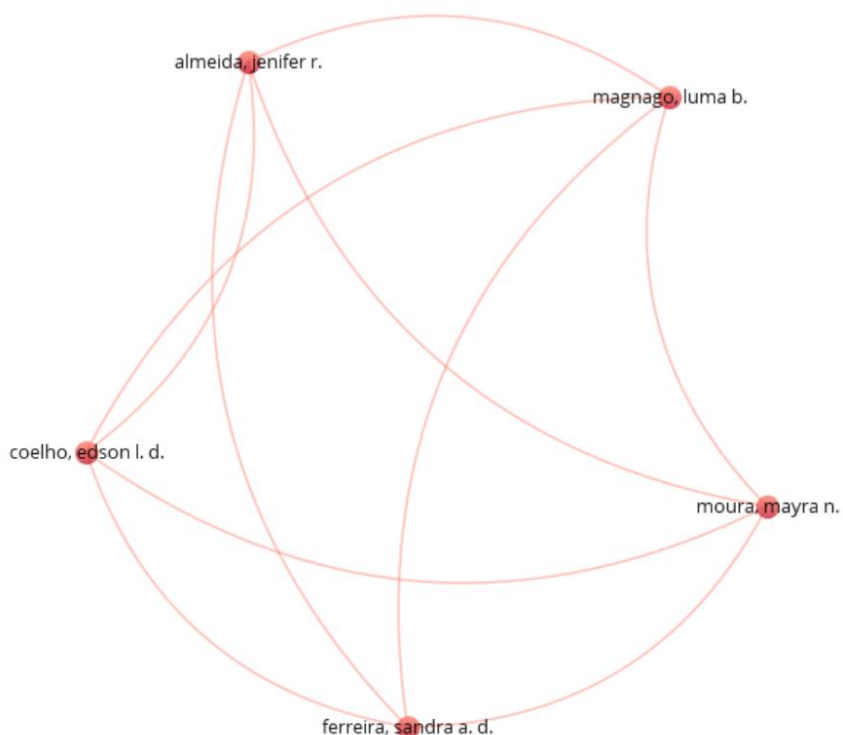


Ilustración 561: Mapa de coautoría del comando Battery degradation

Red pequeña-mediano, en la que se demuestra que la degradación es una carga de línea relacionada con la vida útil y el funcionamiento.

19.2. Co-occurrence

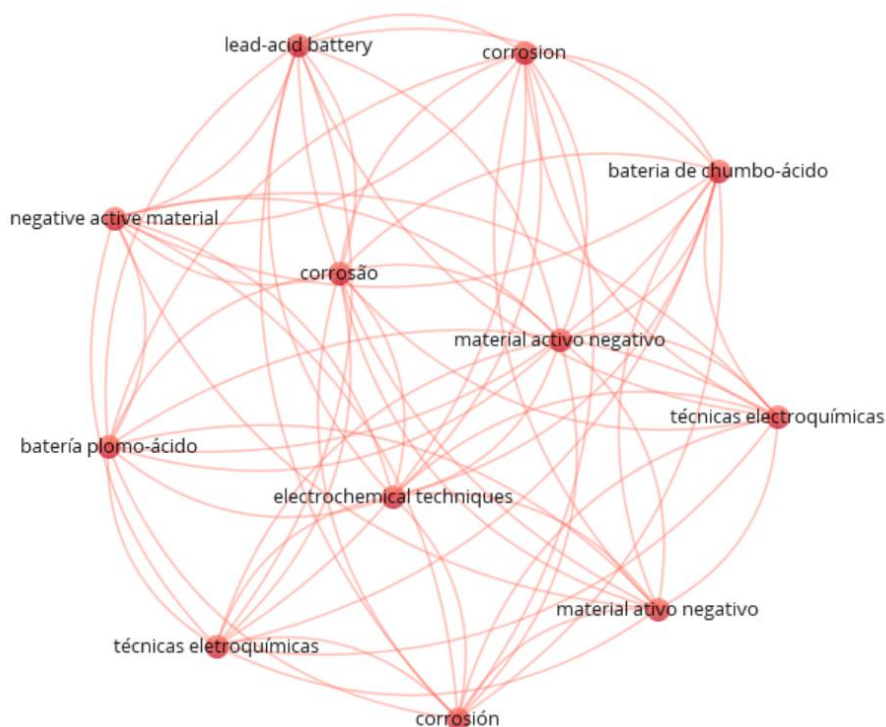


Ilustración 562: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando *Battery degradation*

Este mapa agrupó términos de envejecimiento y vida, duración y rendimiento, se considera como una tendencia regional de confiabilidad, conveniente para prever demandas de investigación.

20. Lithium-ion batteries

20.1. Co-authorship

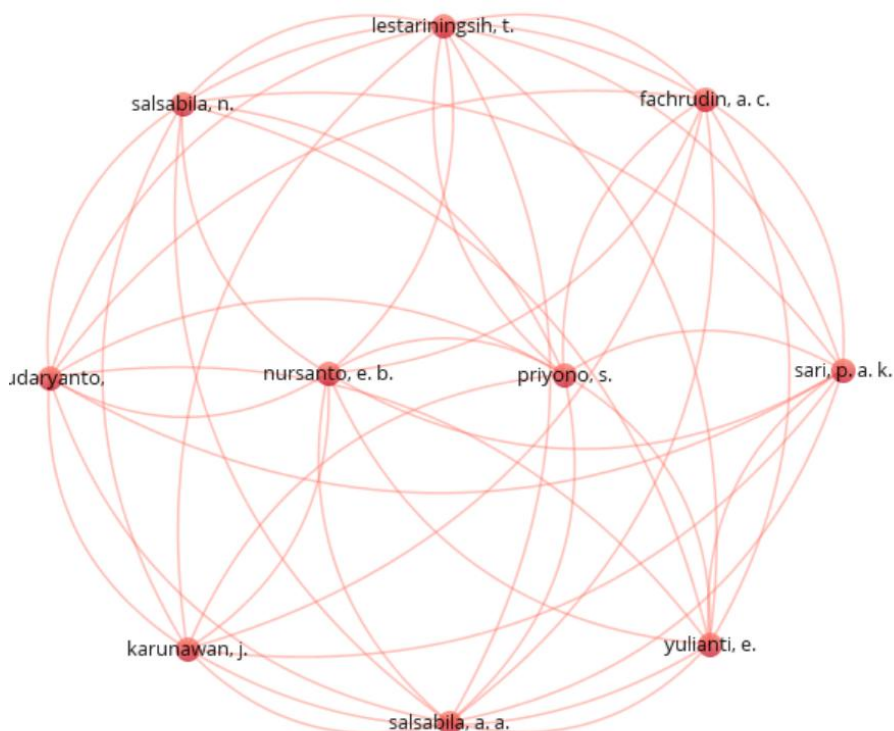


Ilustración 563: Mapa de coautoría del comando *Lithium-ion batteries*

Red moderada representa el núcleo regional alrededor del litio.

20.2. Co-occurrence



Ilustración 564: Mapa de co-ocurrencia de palabras clave del comando *Lithium-ion batteries*

Los términos del mapa indican amplias consultas de tecnología y aplicaciones Li-ion, sirve para comparar con qué subtemas se encuentran en SciELO, eficiencia, seguridad y cuáles casi nada como sólido, Li-S, Al-air.

Tras realizar el análisis a los mapas elaborados en VOSviewer, se presentan a continuación algunas tablas que resumen los resultados más relevantes para cada uno de los veinte comandos bibliométricos sobre los que se realizó la consulta en la base de datos Scielo. Estas tablas se basan en la información que se desprende de los mapas de coautoría y co-ocurrencia y posibilitan la integración de éstos y la interpretación conjunta y de conjunto, buscando aportar las tendencias emergentes en investigación y los desafíos estratégicos a futuros estudios según lo establecido en el objetivo específico 3.



4.3.2.1. Síntesis por comando: lectura de coautoría y co-ocurrencia y aporte a tendencias

Para una síntesis ordenada de los resultados, basada en los mapas VOSviewer, a continuación, se muestra una tabla de resumen que para cada uno de los veinte comandos de análisis bibliométrico en la base de datos SciELO, sintetiza una lectura conjunta de los mapas de coautoría y de co-ocurrencia de términos clave. Esta síntesis ayuda a comparar qué tan maduras son las colaboraciones, tener la estructura temática y cómo se relaciona con el desarrollo regional de las tecnologías de baterías para vehículos eléctricos, en términos generales para detectar tendencias y vacíos de investigación.

Tabla 25: Síntesis por comando: lectura de coautoría y co-ocurrencia y aporte a tendencias

Comando (SciELO)	Volumen (filtrados)	Coautoría (madurez colaborativa)	Co-ocurrencia (estructura temática)	Tendencias
Li-ion battery	6	Baja–media	Temas generales, enfoque aplicado	Base regional: no punta, pero consolida contexto Li-ion
Commercial battery	16	Media	Subtemas de desempeño/aplicación	Útil para detectar términos puente entre líneas
Electric vehicle battery	30	Media	Integración tecnológica VE	Confirma crecimiento regional en movilidad eléctrica
Lithium battery	42	Media–alta	Alta diversidad por ser término amplio	Identifica rutas hacia seguridad, eficiencia y gestión
Solid-state battery	3	Incipiente	Pocos términos/enlaces	Emergente: brecha regional en materiales avanzados



Nickel metal hydride battery	2	Incipiente	Baja diversidad	Tecnología con baja tracción regional actual
Sodium battery	9	Baja	Alternativa al litio, en formación	Emergente: posible crecimiento futuro
Hybrid battery	27	Media	Integración energética y desempeño	Tendencia aplicada: sistemas híbridos y optimización
Battery efficiency	59	Alta	Eje dominante (eficiencia/gestión)	Tendencia regional fuerte: eficiencia y aplicación
Duración de la batería	16	Media	Vida útil/operación	Puente directo hacia degradación y confiabilidad
Battery safety	28	Media	Seguridad operativa/ingeniería	Prioridad regional en confiabilidad (línea aplicada)
Energy density battery	11	Baja-media	Rendimiento con menor especialización	Brecha regional en optimización avanzada
Lithium-sulfur battery	1	Incipiente	Mapa mínimo	Emergente: oportunidad clara de investigación
Aluminum-air battery	1	—	—	Ausente en SciELO: vacío regional explícito



Battery thermal management	2	Incipiente	Pocos enlaces	Emergente crítico: tema clave aún poco desarrollado
Battery fast charging	1	Incipiente	Mapa mínimo	Emergente: línea industrial con baja evidencia regional
Battery recycling electric vehicles	1	Incipiente	Economía circular incipiente	Tendencia naciente: confirma baja producción regional
Battery cost electric vehicles	3	Incipiente	Costos, mercado y escalabilidad	Tendencia transversal: viabilidad económica
Battery degradation	8	Baja	Envejecimiento, vida útil y rendimiento	Tendencia aplicada: confiabilidad y durabilidad
Lithium-ion batteries	18	Media	Núcleo Li-ion regional	Permite comparar sublíneas: qué aparece vs. qué falta

4.3.2.2. Tendencias emergentes regionales identificadas desde VOSviewer

A través del análisis comparativo entre los mapas de VOSviewer y de la síntesis expuesta previamente, se pueden destacar tendencias emergentes de investigación y líneas tecnológicas incipientes dentro de la producción científica regional indexada en SciELO. A continuación, se sintetizan aquellas tecnologías y enfoques que, a pesar de contar con poca densidad de publicaciones, nodos o pequeños grupos de colaboración, muestran un alto potencial de desarrollo futuro que impactaría directamente en la consecución del objetivo específico 3, centrado en la identificación de nuevas tendencias en el área de baterías comerciales para vehículos eléctricos.

**Tabla 26:** Tendencias emergentes regionales identificadas desde VOSviewer

Tendencia/tecnología emergente	Evidencia (comandos SciELO)	Señal típica en mapas VOSviewer	Implicación	Oportunidad de investigación (enunciable como tendencia)
Baterías de estado sólido	Solid-state battery (3)	Redes pequeñas, baja densidad temática	Campo incipiente regional	Desarrollo de electrolitos sólidos, interfaces y escalamiento
Baterías Li-S	Lithium-sulfur battery (1)	Mapa mínimo, términos muy concentrados	Tendencia temprana	Materiales catódicos, mitigación de polisulfuros, aplicaciones
Alternativas al litio (sodio)	Sodium battery (9)	Micro-clústeres y baja conectividad	Línea en formación	Materiales accesibles, desempeño, adaptación a redes, VE
Gestión térmica	Battery thermal management (2)	Pocos nodos/enlaces pese a relevancia	Brecha regional en tema crítico	Modelos térmicos, estrategias de enfriamiento, seguridad
Carga rápida	Battery fast charging (1)	Red incipiente, baja diversidad	Baja producción pese a importancia	Estrategias de carga, degradación acelerada, electrónica de potencia
Economía circular/reciclaje	Battery recycling electric vehicles (1)	Pocos términos; clúster incipiente	Tendencia naciente confirmada por tu análisis	Rutas de reciclaje, segunda vida,



				recuperación de materiales
Viabilidad económica y adopción	Battery cost electric vehicles (3)	Dispersión: términos de mercado/costos	Transversal a la implementación	Modelos de costo total, escalabilidad regional, políticas públicas
Vacíos tecnológicos (ausencias)	Aluminum-air battery (0)	No hay red robusta	Tema ausente regional	Línea potencial para estudios exploratorios y revisión técnica

En conjunto, estas tablas contribuyen a condensar los principales resultados del análisis visual, al tiempo que posibilitan el desplazamiento entre una descripción bibliométrica y un sentido interpretativo de tipo prospectivo en el que se señalan aquellas aristas que aparecen como oportunidades estratégicas para indagaciones subsiguientes particularmente en el plano regional.

4.4. Análisis de los comandos bibliométricos en IEEE Xplore

El análisis bibliométrico de la base de datos IEEE Xplore fue clave para entender el mercado comercial de baterías y la última tecnología para vehículos eléctricos. A diferencia de Scopus y Web of Science, que el análisis se realizó directamente en Excel, a través de sus resultados en archivos .CSV, mismos que sirvieron para poder elaborar gráficos y tablas interactivas utilizadas en el análisis, IEEE Xplore da sus resultados en archivos .RIS, para ser tratados en el software VOSviewer, una opción popular en la investigación bibliométrica, para crear redes, clústeres temáticos, y mapas que muestran la estructura de los estudios científicos a partir de datos que no están en tablas. Este software trata de mostrar cómo los autores trabajan juntos, con qué frecuencia aparecen ciertas palabras, y cómo los documentos están vinculados por citas y referencias.

El análisis de esta base de datos se lo realizará a los comandos bibliométricos referentes a IEEE Xplore descritos en el capítulo III, que se han elegido para evaluar el rendimiento técnico, científico y tecnológico de varios tipos de baterías como Li-ion, LFP, NMC, Li-S, Na-ion, Al-Air. El período de estudio mantiene los límites generales del trabajo de grado desde 2005 hasta 2024.



El uso de VOSviewer identifica patrones de colaboración entre autores, relaciones temáticas en ingeniería de baterías y la estructura conceptual del campo.

4.4.1. Análisis en Microsoft Excel de los comandos bibliométricos de IEEE Xplore

El análisis bibliométrico de la base de datos IEEE Xplore, implementado en Microsoft Excel, es posible para analizar la tasa cuantitativa del comportamiento de producción científica relacionada a los cómputos bibliométricos definidos para el estudio. De los registros recuperados, se estudiaron varios indicadores, incluida la evolución temporal de las publicaciones, el tipo de documento y la participación de los autores, para evaluar el grado de desarrollo, consolidación y especialización de las tecnologías de baterías utilizadas en vehículos eléctricos. Este análisis es el fundamento estadístico que acompaña al estudio visual que se realizará posteriormente con VOSviewer y convencionalmente provee evidencia para el reconocimiento de tendencias de tecnologías. A continuación, se detalla el análisis realizado en base a los archivos exportados a excel:

1. Li-ion battery AND energy density

El análisis bibliométrico de este comando evidencia que la densidad de energía es uno de los focos de interés en el estudio de las baterías de vehículos eléctricos comerciales debido a su impacto en la distancia y el rendimiento del sistema de energía del vehículo

1.1.Publicaciones por año

La producción científica tiende a mantenerse en aumento, con crecimiento significativo en años recientes, lo cual refleja que existe un interés constante por mejorar este parámetro crucial en las baterías de ion-litio.

1.2.Documentos por categoría de revistas

Predominan en su mayoría los artículos científicos, seguidos de actas de congreso, mostrando una combinación de investigación establecida y desarrollo de tecnología emergente.

1.3.Autores más productivos

Hay una concentración de publicaciones entre los autores recurrentes, lo que indica liderazgo científico y especialización temática.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

Este comando aborda uno de los mayores retos técnicos de las baterías comerciales: la degradación, el elemento clave para la vida útil y los costos operativos del vehículo eléctrico.

2.1.Publicaciones por año

Existe un crecimiento progresivo y estable de publicaciones relacionadas con el uso creciente de baterías de iones de litio en aplicaciones vehiculares.

2.2.Documentos por categoría de revistas

Las revistas científicas son de gran mayoría, evidenciando claras perspectivas experimentales y analíticas.



2.3. Autores más productivos

La repetición de autores especializados¹ corrobora el afianzamiento de esta corriente de estudio.

3. Li-ion battery AND safety

El análisis de este equipo confirma que la seguridad es una prioridad en el uso generalizado de baterías comerciales para vehículos eléctricos.

3.1. Documentos por año

La producción se mantiene constante con el aumento, lo que indica un tema que siempre está vivo.

3.2. Documentos por categoría de revistas

Predominan los artículos técnicos detallados producidos en conferencias dedicadas a controles y estándares experimentales.

3.3. Autores más prolíferos

Existe una continuidad de autores que refleja tanto la experiencia acumulada como la especialización.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

Este comando es indicativo del estado de una tecnología que ha sido gradualmente desplazada por otras de mayor eficacia.

4.1. Publicaciones por año

La producción científica es escasa e intermitente, sin que exista una tendencia creciente durante los últimos años.

4.2. Documentos por categoría de revistas

Los documentos son en su mayoría informes de estudio técnico y comparativo.

4.3. Autores más productivos

La escasa repetición de autores revela que el interés investigativo era poca.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

El análisis realizado hasta la fecha muestra un interés creciente en las baterías LFP debido a su estabilidad térmica y fiabilidad operativa.

5.1. Publicaciones por año

Se ha observado un crecimiento progresivo, especialmente en los últimos años.

5.2. Documentos por categoría de revistas

Predominan los artículos científicos establecidos.

5.3. Autores más prolíficos

A menudo los autores reflejan la existencia de grupos de expertos.

6. Solid-state battery AND commercialization

Esta convocatoria aborda una de las áreas tecnológicas más prometedoras en el futuro del almacenamiento de energía.

6.1. Publicaciones por año

Recientemente hay un aumento en las publicaciones, pero históricamente el volumen es pequeño.

6.2. Documentos por categoría de revistas



Alta presencia de congresos, característica de las tecnologías en fase emergente.

6.3. Autores más productivos

Existe la dispersión de la autoría, sin un liderazgo claramente definido

7. Sodium-ion battery AND performance

El análisis refleja el creciente interés en opciones frente al litio convencional.

7.1. Publicaciones por año

Crecimiento modesto en los últimos años.

7.2. Documentos por categoría de revistas

Los artículos sobre interpretación y caracterización son predominantes.

7.3. Autores más productivos

Participaron autores de diversos orígenes.

8. Hybrid battery AND lifetime

Este mandato se dirige a aplicaciones concretas de sistemas híbridos.

8.1. Publicaciones por año

Escasa y constante producción.

8.2. Documentos por categoría de revistas

La mayoría de los artículos científicos.

8.3. Autores más productivos

La mitad de los autores más productivos no estuvo activa en los últimos 10 años. Se proyectaba que el porcentaje de los autores más productivos no estuviera activo en los siguientes 10 años.

9. Battery efficiency AND charging

El análisis confirma que la eficiencia de la carga es importante para la adopción de vehículos eléctricos.

9.1. Publicaciones por año

El crecimiento, en especial recientemente, es muy notable.

9.2. Documentos por categoría de revistas

Fuerte presencia en conferencias técnicas.

9.3. Escritores más prolíficos

Gran variedad de autores.

10. Battery lifespan AND Li-ion

Este equipo enfatiza la importancia de la durabilidad en las baterías comerciales.

10.1. Publicaciones por año

Muestra sostenibilidad y continuidad de la producción.

10.2. Documentos por categoría de revistas

La escritura científica es dominante.

10.3. Escritores más prolíferos

Escritores frecuentes y conocidos.

11. Battery thermal management AND vehicle



La gestión térmica se identifica como un desafío clave de ingeniería.

11.1.Publicaciones por año

En los últimos años es un crecimiento fisiológico crónico.

11.2.Documentos por categoría de revistas

Alta asistencia a conferencias técnicas.

11.3.Autores más productivos

Literalmente autores evidentes.

12. Battery safety AND thermal runaway

Este comando trata uno de los efectos más peligrosos en baterías de ion-litio.

12.1.Publicaciones por año

Aumento sucesivo de publicaciones.

12.2.Documentos por categoría de revistas

Artículos muy técnicos.

12.3.Autores más productivos

Expertos altamente concentrados.

13. Battery cost AND electric vehicles

El costo sigue siendo una barrera importante para la adopción masiva de vehículos eléctricos.

13.1.Publicaciones por año

Crecimiento moderado.

13.2.Documentos por categoría de revistas

Artículos científicos e investigación aplicada.

13.3.Los escritores más prolíficos

Respuesta a la diversidad entre industrias.

14. Battery recycling AND lithium-ion

Reciclaje entre las prioridades ambientales y tecnológicas.

14.1.Publicaciones por año

Reciente aumento sustancial.

14.2.Documentos por categoría de revistas

The scientific articles are prevailing.

14.3.Autores más productivos

Dispersión autoral a Sky High.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

Este comando está reflejando la versión experimental de la técnica Li-S.

15.1. Publicaciones por año

Uso retardado e intermitente.

15.2. Documentos por categoría de revistas

Estudio principalmente experimental.

15.3. Autores más productivos

Pocos autores recurrentes.

16. Aluminum-air battery AND mobility



La tecnología del metal y del aire implica importantes desafíos técnicos.

16.1. Publicaciones por año

Muy poca producción científica.

16.2. Documentos por categoría de revistas

Estudios conceptuales.

16.3. Autores más productivos

Alta prevalencia de autores.

17. Fast charging AND Li-ion battery

La carga rápida se impone como reclamo industrial.

17.1. Publicaciones por año

El crecimiento rápido reciente.

17.2. Documentos por categoría de revistas

Congresos predominantes.

17.3. Autores más productivos

Alta competencia investigativa.

18. Energy storage AND battery degradation

Este comando evidencia la transversalidad del problema de degradación.

18.1. Publicaciones por año

Producción mantenida.

18.2. Documentos por categoría de revistas

La prevalencia de artículos científicos

18.3. Autores más productivos

Especialización moderada.

19. Commercial battery AND vehicle

La inclinación aplicada es evidente en este comando.

19.1. Publicaciones por año

Crecimiento estable.

19.2. Documentos por categoría de revistas

Balanceo entre artículos y conferencias.

19.3. Autores más productivos

Diversificar las instituciones.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

Este comando se refiere a algunos aspectos técnicos del funcionamiento de las baterías.

20.1. Publicaciones por año

Baja producción pero constante.

20.2. Documentos por categoría de revistas

Artículos muy técnicos.

20.3. Autores más productivos

Alta especialización.



Tras llevarse a cabo el análisis de los resultados obtenidos con ayuda del software Microsoft Excel para los comandos bibliométricos de la base de datos IEEE Xplore, a continuación, se muestra un análisis resumido contenido en tablas. Estas tablas resumen los principales patrones observados, facilitan la comparación entre tecnologías de baterías y proporcionan una mirada integrada a la dinámica de los resultados, ayudando a interpretar con mayor claridad los niveles de desarrollo, consolidación y proyección de las tecnologías estudiadas.

4.4.1.1. Tendencias generales observadas en el análisis en Excel

La siguiente tabla proporciona un resumen de las principales tendencias generales encontradas a través del análisis bibliométrico en Microsoft Excel, con lo que se logran condensar los patrones más representativos en la producción científica alrededor de los comandos establecidos en la base de datos IEEE Xplore.

Tabla 27: *Tendencias generales observadas en el análisis en Excel*

Indicador analizado	Patrón observado	Interpretación técnica
Publicaciones por año	Crecimiento sostenido	Campo tecnológico en expansión
Tipo de documento	Predominio de artículos y congresos	Investigación aplicada y experimental
Autores líderes	Alta concentración	Liderazgo de grupos especializados
Instituciones	Universidades y centros tecnológicos	Especialización en I+D
Países	Concentración en economías desarrolladas	Relación entre inversión y producción científica

4.4.1.2. Relación entre comandos bibliométricos y nivel de madurez

La tabla siguiente relaciona los comandos bibliométricos con su nivel de madurez tecnológica, que permite clasificar a las tecnologías de baterías según su nivel de madurez ya sea madura, emergente o con limitada proyección investigativa.

Tabla 28: *Relación entre comandos bibliométricos y nivel de madurez*

Tipo de tecnología	Comportamiento bibliométrico	Nivel de madurez



Baterías Li-ion	Alta producción y continuidad temporal	Tecnología consolidada
LFP y NMC	Crecimiento sostenido	Tecnología madura
Estado sólido	Producción creciente reciente	Tecnología emergente
Sodio-ion	Producción moderada	Desarrollo intermedio
NiMH y metal-aire	Baja producción	Tecnologías en declive o exploratorias

4.4.1.3. Aporte estratégico del análisis en Excel

A continuación, se resume la siguiente tabla para el análisis anterior realizado en Microsoft Excel en la metodología aportando su contribución para el estudio global de la tendencia junto con el conocimiento actual y dirección futura para investigación en baterías comerciales para vehículos eléctricos.

Tabla 29: Aporte estratégico del análisis en Excel

Dimensión	Contribución al estudio
Cuantitativa	Medición objetiva de la producción científica
Comparativa	Evaluación transversal entre tecnologías
Temporal	Identificación de tendencias y ciclos de investigación
Estratégica	Base para detectar tecnologías emergentes

4.4.2. Procedimiento VOSviewer aplicado a los comandos de IEEE Xplore

Una vez que se realizaron análisis cuantitativos detallados para los resultados que se obtuvieron en la base de datos IEEE Xplore con ayuda de tablas y gráficos generados a través de Excel, se continuó con la complementación de dicho análisis mediante uno visual con la utilización del software VOSviewer, a partir de los archivos que fueron exportados con extensión. ris. Este estudio analítico permitió, entre otras cosas, analizar simultáneamente las redes de coautoría, co-ocurrencia de palabras clave y relaciones de citación en función de los comandos bibliométricos especificados anteriormente.

VOSviewer permitió identificar clústeres temáticos, patrones de colaboración científica y la estructura conceptual del dominio de estudio entre otros hallazgos,



cuyos resultados fueron integrados con el análisis de madurez tecnológica y tendencias temporales obtenidas con anterioridad. A continuación, se muestra para la base de datos IEEE Xplore cada uno de los comandos bibliométricos en VOSviewer.

1. Li-ion battery AND energy density

1.1.Co-authorship

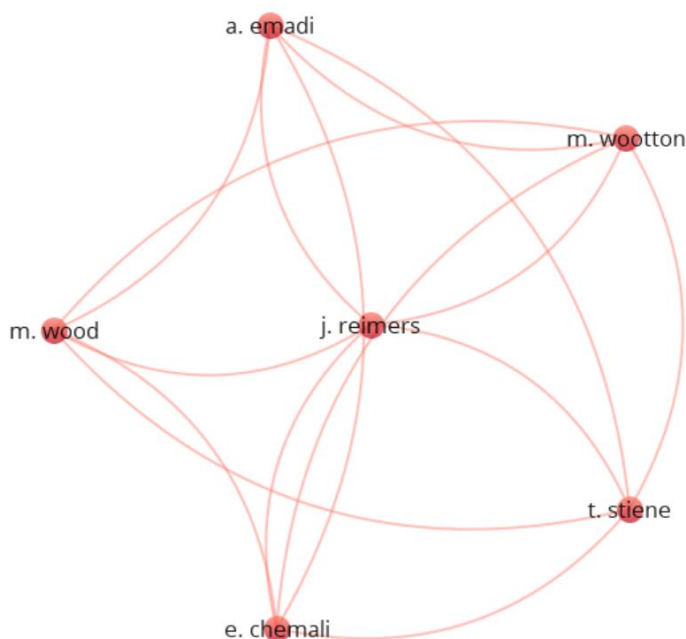


Ilustración 565: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND energy density

El núcleo de la red de coautoría es un núcleo conectado entre sí, lo que indica que la investigación sobre densidad energética en baterías Li-ion es muy colaborativa. Se pueden ver clústeres con autores que se repiten en diferentes trabajos sobre optimización de celda, modelado energético y mejora del rendimiento. Varios nodos interconectados representan un campo sólido en el que múltiples grupos de investigación avanzan tecnológicamente al futuro.

1.2.Co-ocurrence

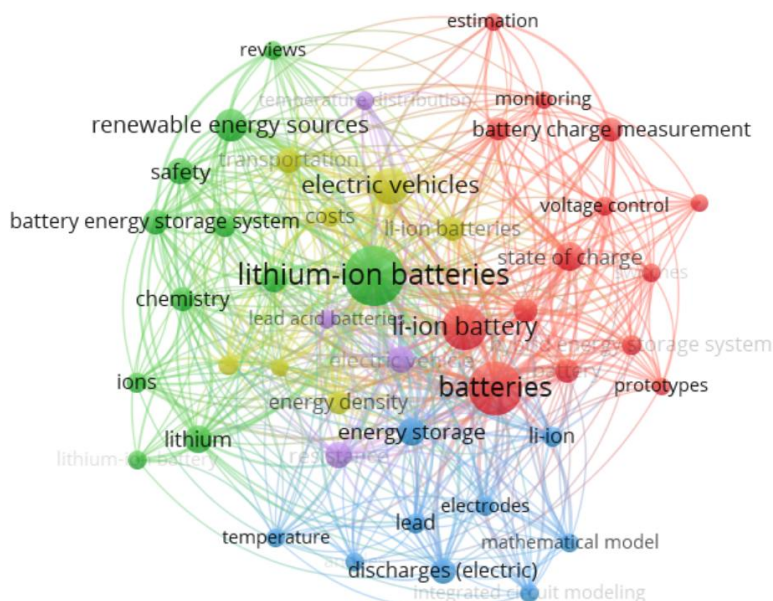


Ilustración 566: Mapa de co-ocurrencia para el comando *Li-ion battery AND energy density*.

El mapa temático muestra términos como energy density, lithium-ion batteries, battery management, charging control, y high-power systems. La estructura revela tres grupos temáticos predominantes:

- Optimización de la electroquímica
- Gestión energética
- vehículo eléctrico en integración

La elevada conectividad evidencia que este orden pertenece a un cuerpo de literatura fuerte y consolidado.

2. Lithium-ion batteries AND battery degradation

2.1.Co-authorship

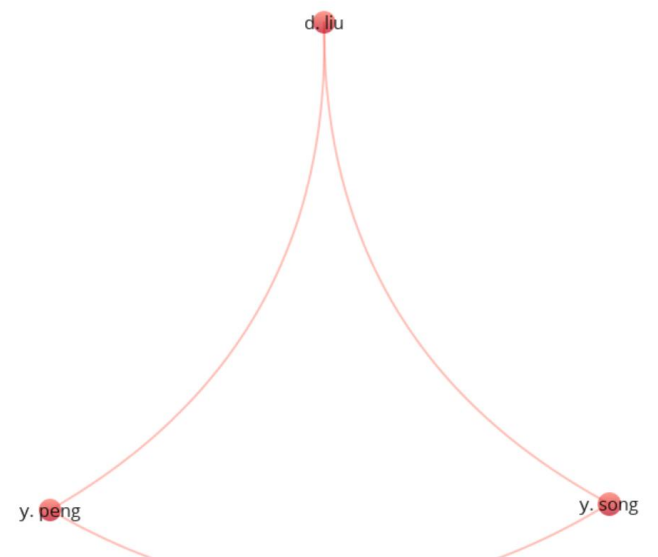


Ilustración 567: Mapa de coautoría para el comando *Lithium-ion batteries AND battery degradation*.

La red muestra grupos claramente detectables donde autores colaboran en análisis de ciclo de vida, State of Health (SOH) y procesos del deterioro electroquímico. Dicha concentración de enlaces es indicativa de que sí existe un conjunto de laboratorios punteros en degradación Li-ion que emerge, reforzando la idea de que existe un interés industrial fuerte en esta línea de investigación.

2.2.Co-occurrence

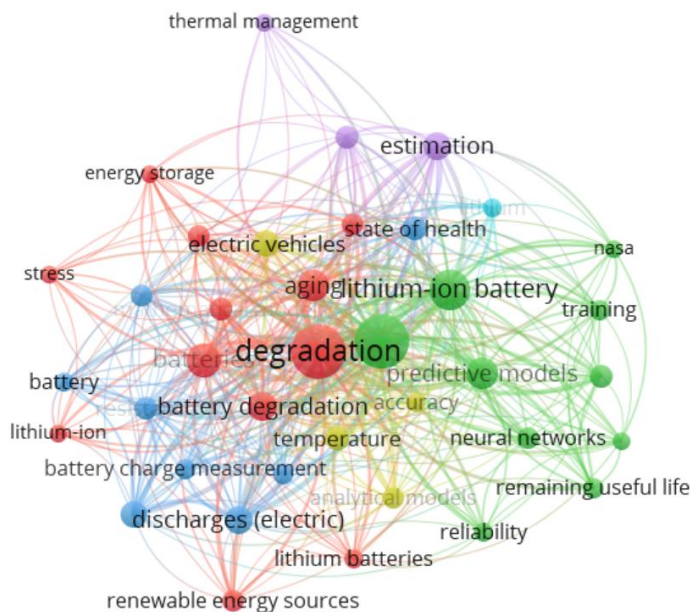


Ilustración 568: Mapa de co-ocurrencia para el comando Lithium-ion batteries AND battery degradation.

La ilustración muestra que las palabras clave giran en torno a la degradación, el envejecimiento, la estimación de la SOH, los efectos térmicos y los ciclos carga-descarga. La red muestra un patrón típico de élites de campo en un mundo pequeño: múltiples puntos, pero fuertemente interconectados, lo que indica un enfoque interdisciplinario entre electroquímica, modelado matemático y sistemas de energía.

3. Li-ion battery AND safety

3.1. Co-authorship

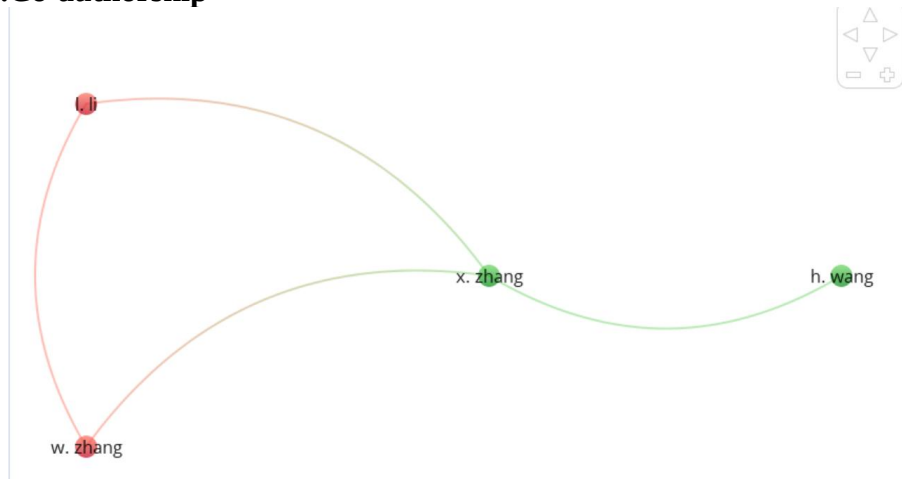


Ilustración 569: Mapa de coautoría para el comando Li-ion battery AND safety.



La ilustración indica que la menor cantidad de enlaces en comparación con los comandos anteriores implica que la investigación en seguridad se centra en menos grupos especializados. Sin embargo, los nodos principales tienen pesos elevados que corresponden al liderazgo científico en análisis de riesgo y fallos críticos.

3.2.Co-occurrence

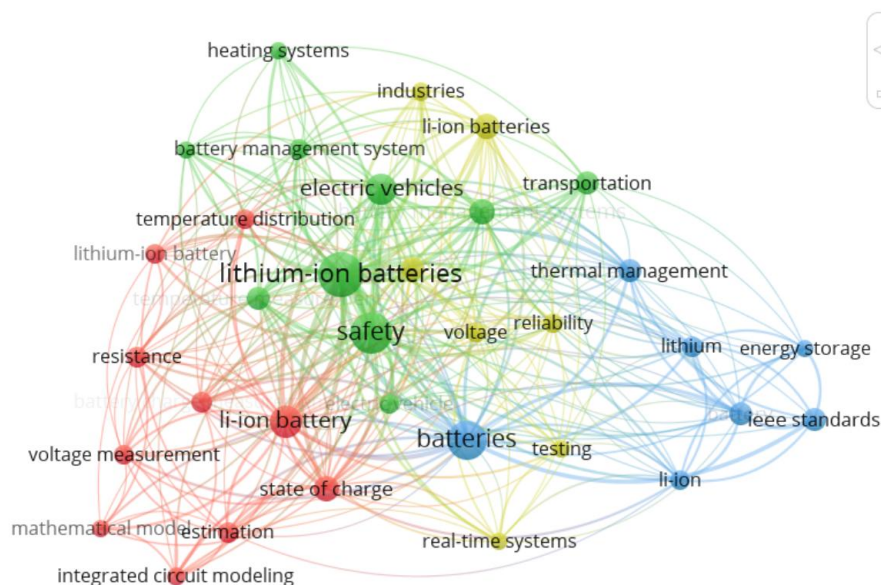


Ilustración 570: Mapa de co-ocurrencia para el comando Li-ion battery AND safety.

En el mapa resaltan términos como thermal runaway, safety mechanisms, fault analysis, y battery protection. La organización de las líneas parece indicar que la seguridad es examinada desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas en lugar de la química pura.

4. Nickel metal hydride battery AND electric vehicle

4.1.Co-authorship

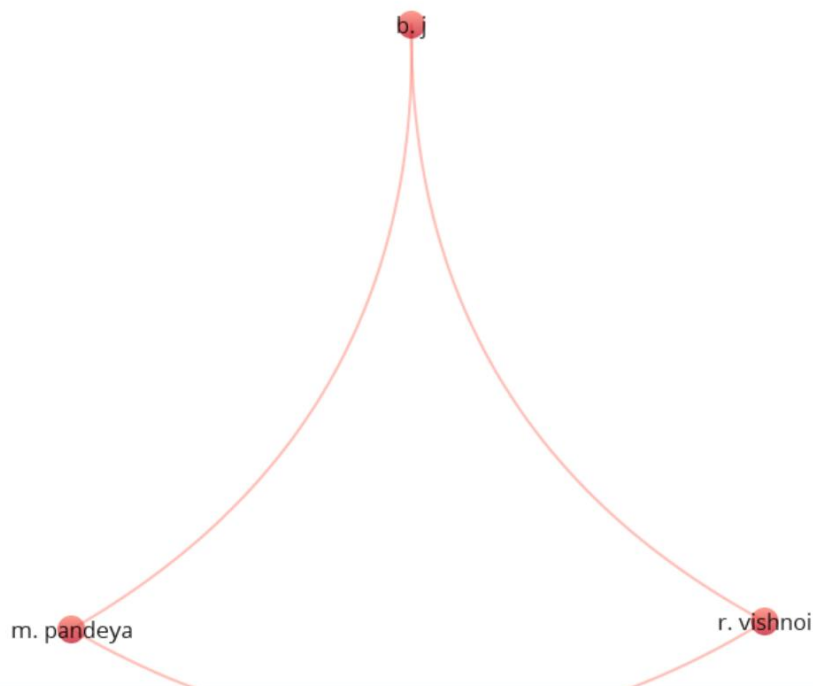


Ilustración 571: Mapa de coautoría para el comando Nickel metal hydride battery AND electric vehicle.

La red es limitada y dispersa. Esto indica una disminución del interés científico, coherente con la caída en uso de NiMH frente a Li-ion.

4.2.Co-occurrence

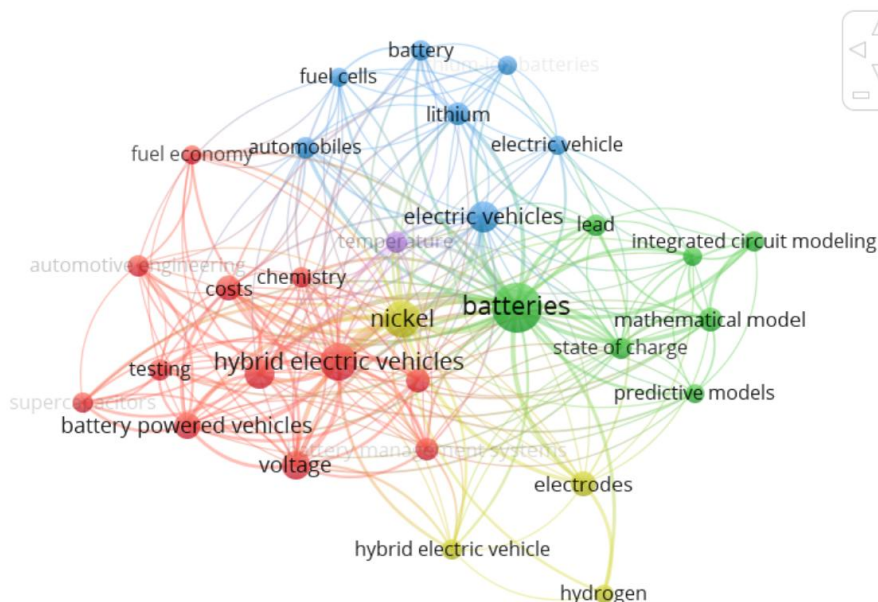


Ilustración 572: Batería moderna de hidruro metálico de níquel Y comando de vehículo eléctrico..



En esta ilustración, los nodos son pocos y los enlaces débiles. Los conceptos se agrupan en sistemas eléctricos y coches híbridos, mostrando el resto del campo en la práctica.

5. Lithium iron phosphate battery AND efficiency

5.1.Co-authorship

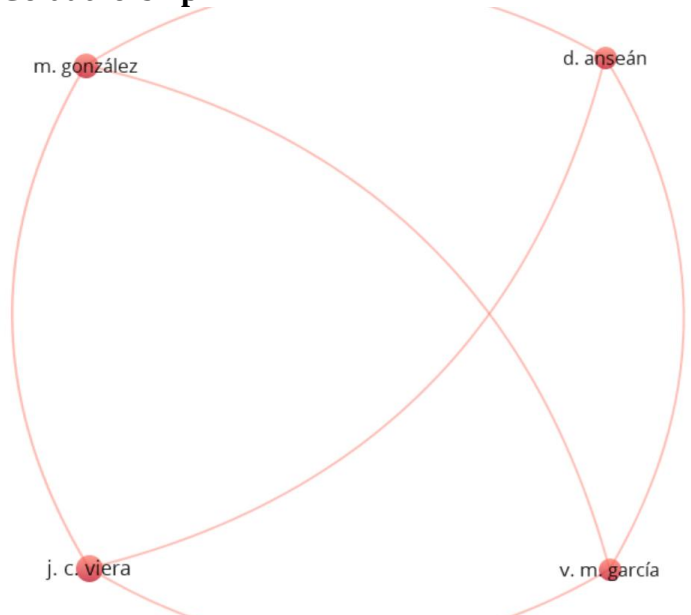


Ilustración 573: Mapa de coautoría para el comando Lithium iron phosphate battery AND efficiency.

Existe una cantidad moderada de autores que trabajan en la eficiencia y estabilidad térmica de las baterías LFP. El grupo principal muestra un enfoque industrial con investigación aplicada.

5.2.Co-ocurrence

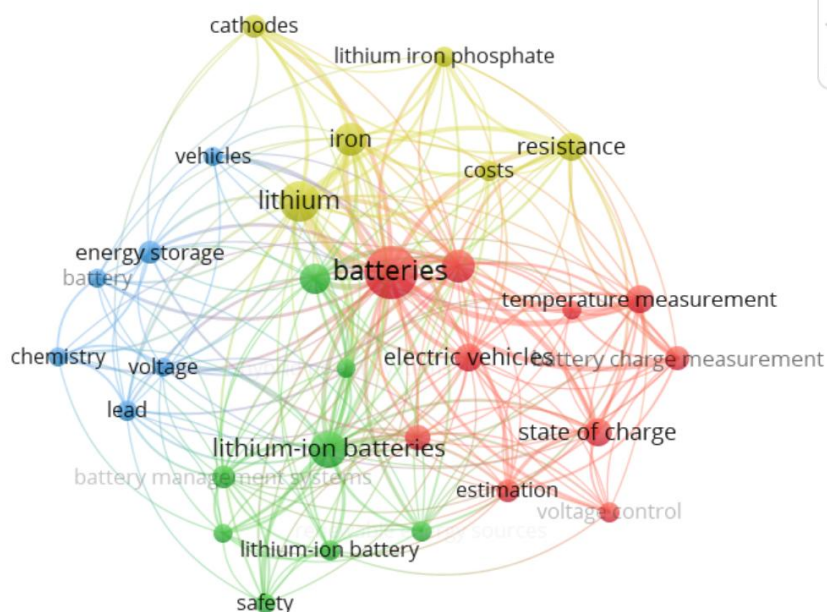


Ilustración 574: Mapa de co-ocurrencia para el comando *Lithium iron phosphate battery AND efficiency*.

Los términos más comunes mostrados en la ilustración son efficiency, las baterías LFP, thermal behavior y vehicle applications. El mapa muestra una línea de formación emergente, pero en creciente consolidación.

6. Solid-state battery AND commercialization

6.1.Co-authorship

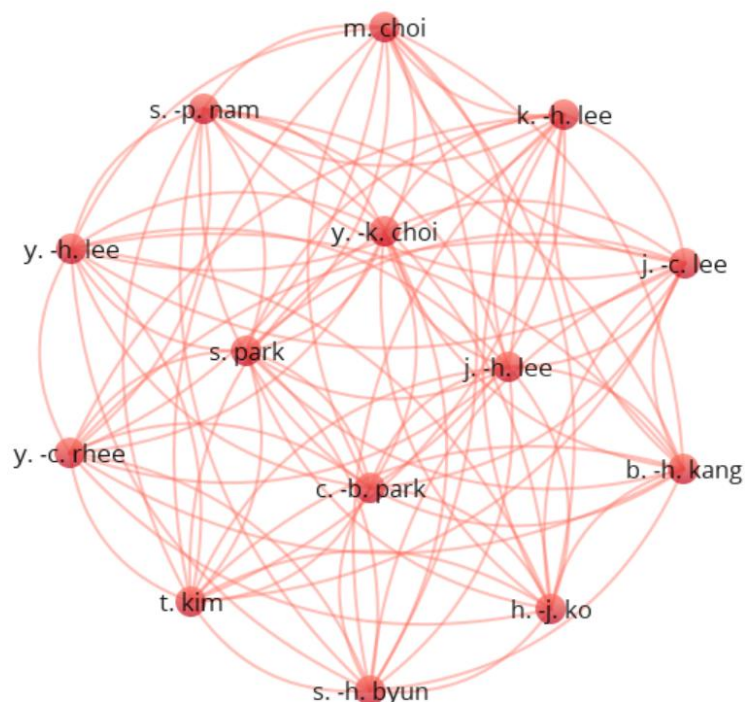


Ilustración 575: Mapa de coautoría para el comando Solid-state battery AND commercialization.

Los nodos son pocos, pero forman pequeños grupos. Esto refleja la fase inicial de la tecnología de estado sólido.

6.2.Co-ocurrence

batteries

sensors

voltage control

Ilustración 576: Mapa de coexistencia del comando de comercialización y batería de estado sólido



El mapa se construye sobre electrolitos sólidos, comercialización y baterías de nueva generación. La estructura dispersa indica que este campo continúa desarrollándose.

7. Sodium-ion battery AND performance

7.1.Co-authorship



Ilustración 577: Mapa de coautoría para el comando Sodium-ion battery AND performance.

La ilustración muestra que es más colaborativo que Li-S y Al-air pero todavía limitado. Los nodos muestran autores que investigan el rendimiento electroquímico y la aplicación práctica tienen una coyuntura entre ellos.

7.2.Co-ocurrence

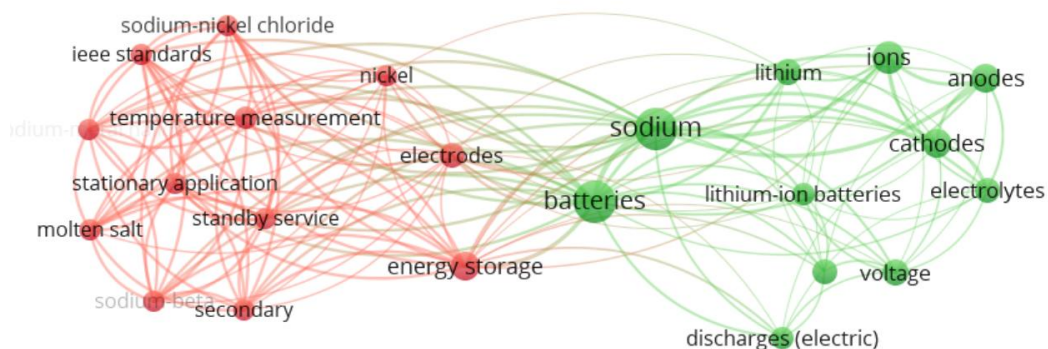


Ilustración 578: Mapa de coexistencia de la batería de iones de sodio y el equipo de rendimiento.

Los términos clave en la ilustración son iones de sodio, rendimiento, almacenamiento de energía y materiales anódicos. La base de datos indica que esta tecnología se está desarrollando rápidamente.

8. Hybrid battery AND lifetime

8.1.Co-authorship

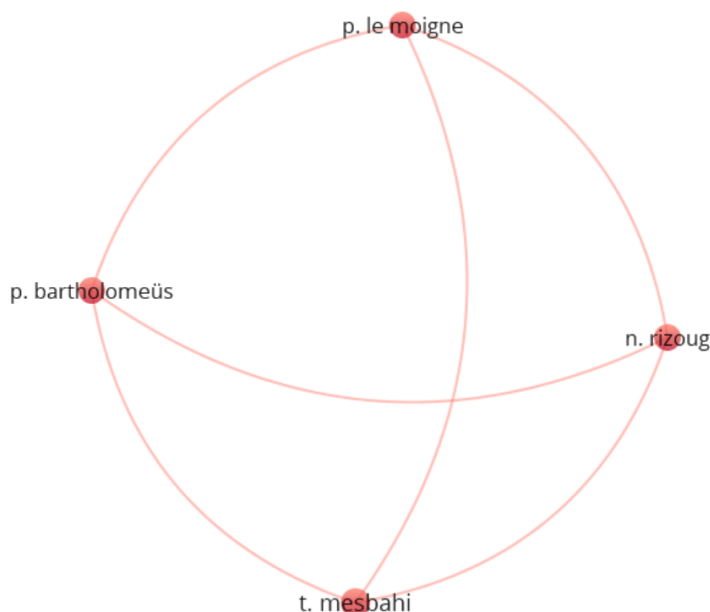


Ilustración 579: Mapa de contribuyentes para batería híbrida y Life Team

La figura muestra una pequeña red con equipos específicos habituales en prototipos de tecnología híbrida.

8.2.Co-ocurrence

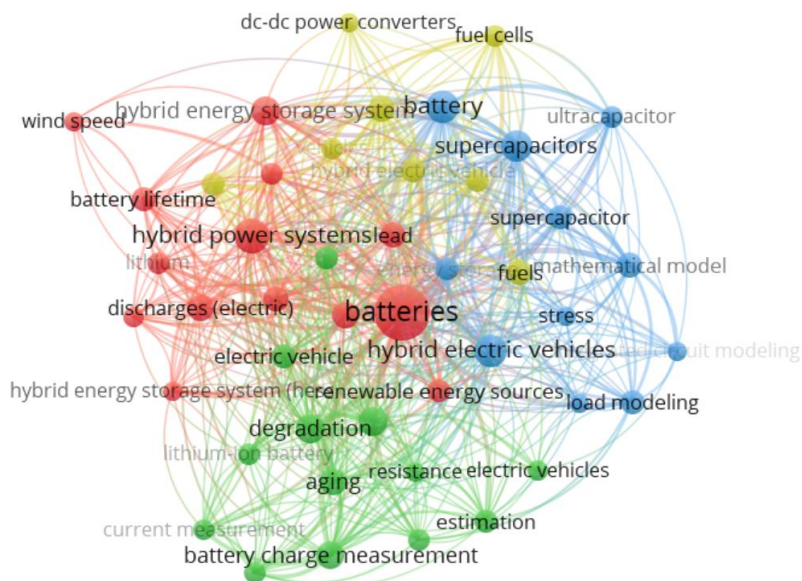


Ilustración 580: Mapa de coexistencia de batería híbrida y comando de tiempo de ejecución.

Los términos concurrentes son: vida útil, sistemas híbridos, gestión de inventarios, lo que indica que el campo está orientado hacia el análisis y la integración de la vida útil.

9. Battery efficiency AND charging

9.1.Co-authorship



Ilustración 581: Mapa de colaboradores para el equipo de Eficiencia y carga de la batería.

La figura muestra que existe un campo de cooperación con varios grupos que trabajan en electrónica de potencia y eficiencia energética.

9.2.Co-occurrence

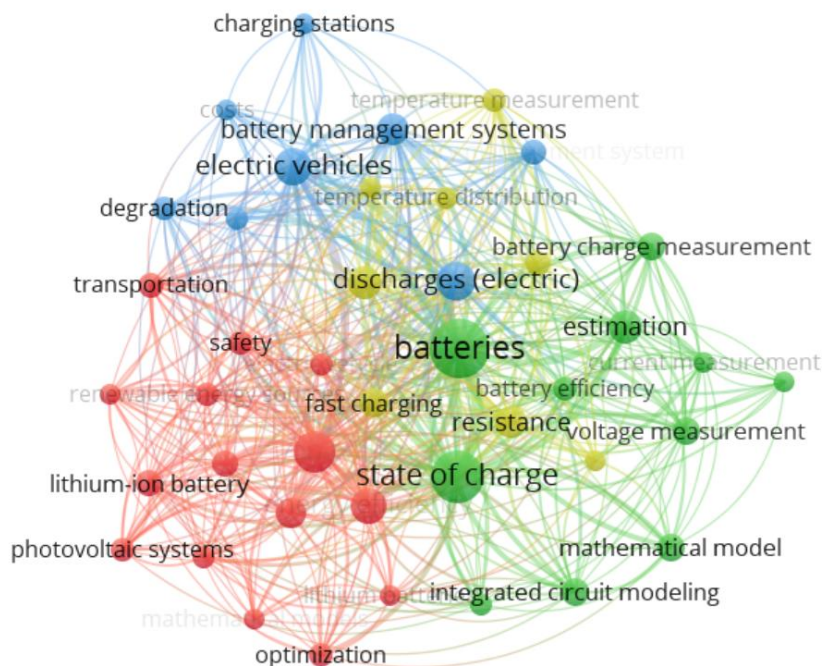


Ilustración 582: Mapa de coocurrencia de eficiencia de la batería y comando de carga.

El mapa revela una alta concentración de conceptos como carga, eficiencia, conversión de energía y sistemas de energía para vehículos.

10. Battery lifespan AND Li-ion

10.1. Co-authorship

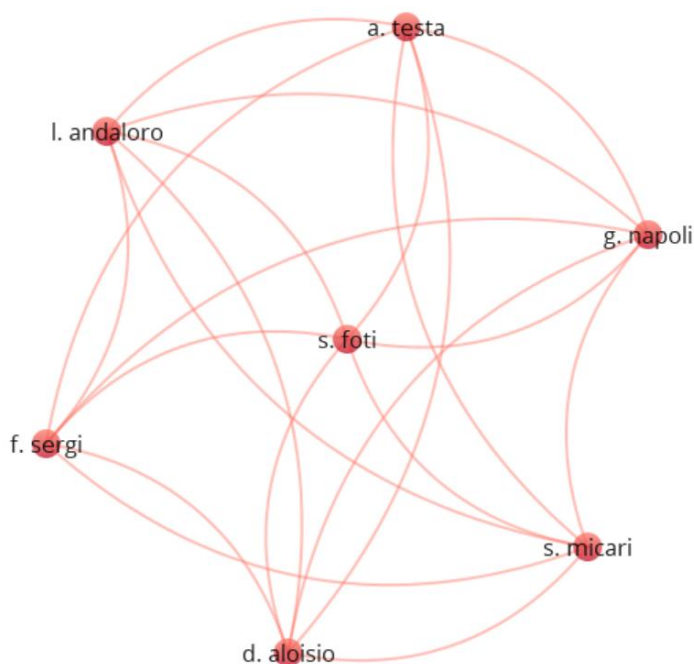


Ilustración 583: Mapa de colaborador del equipo Battery Life Y del equipo Li-ion.

La figura muestra una correlación moderada entre el modelo de envejecimiento de los autores y la predicción del ciclo de vida.

10.2. Co-ocurrence

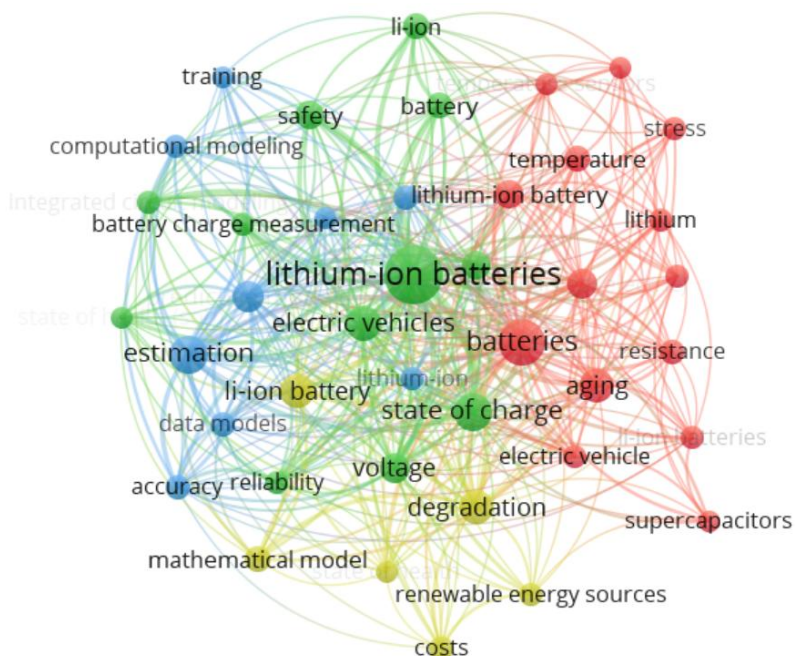


Ilustración 584: Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery lifespan AND Li-ion.



En la ilustración se destacan la vida útil, el modelo de envejecimiento, el Li-ion y la estimación del SOH. Es una línea consolidada pero no masiva.

11. Battery thermal management AND vehicle

11.1. Co-authorship

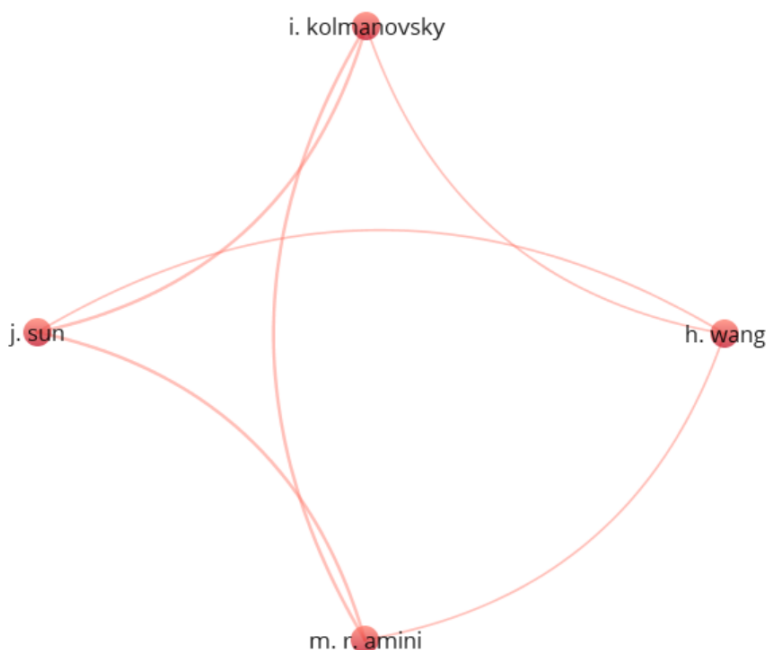


Ilustración 585: Mapa de coautoría para el equipo de Gestión Térmica de la Batería Y el vehículo.

La ilustración muestra una sólida red con autores de la ingeniería del automóvil y de la calefacción.

11.2. Co-ocurrence

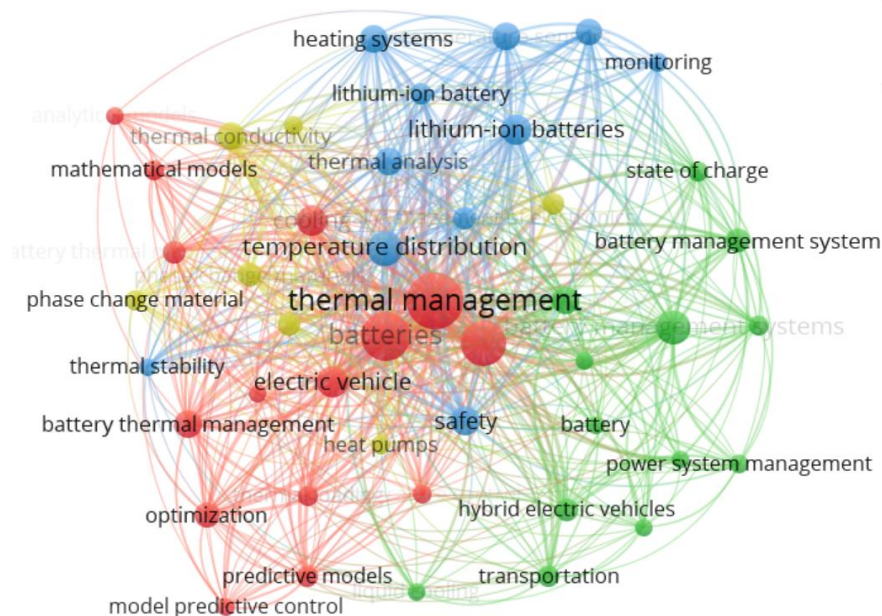


Ilustración 586: Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery thermal management AND vehicle.

La ilustración muestra la gestión térmica, el sistema de refrigeración y la integración de vehículos que se destacan por un campo de aplicación muy avanzado.

12. Battery safety AND thermal runaway

12.1. Co-authorship



Ilustración 587: Mapa de coautoría para el comando Battery safety AND thermal runaway.

Los autores forman agrupaciones muy cerradas centradas únicamente en el fenómeno TCF.

12.2. Co-occurrence

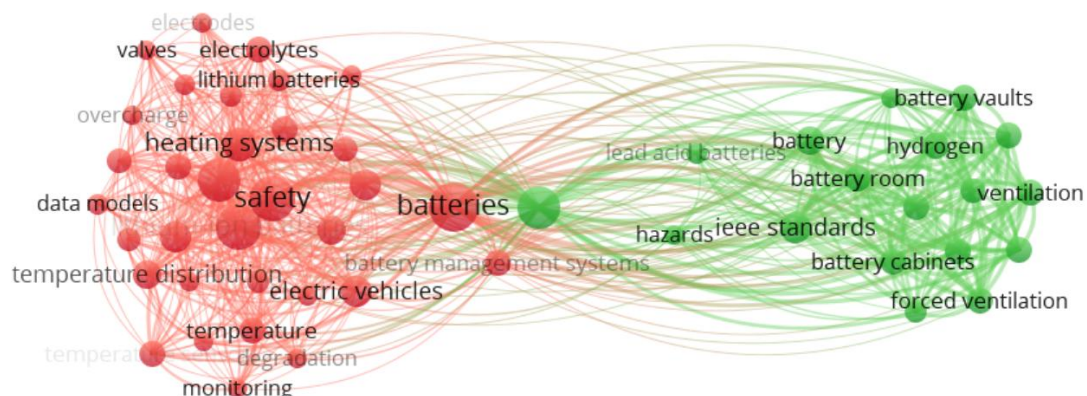


Ilustración 588: Mapa de coocurrencia del comando de arranque térmico y seguridad de la batería.

Conceptos como fuga térmica, seguridad y análisis de fallos dominan la ilustración, lo que confirma que se trata de un área crítica.

13. Battery cost AND electric vehicles

13.1. Co-authorship

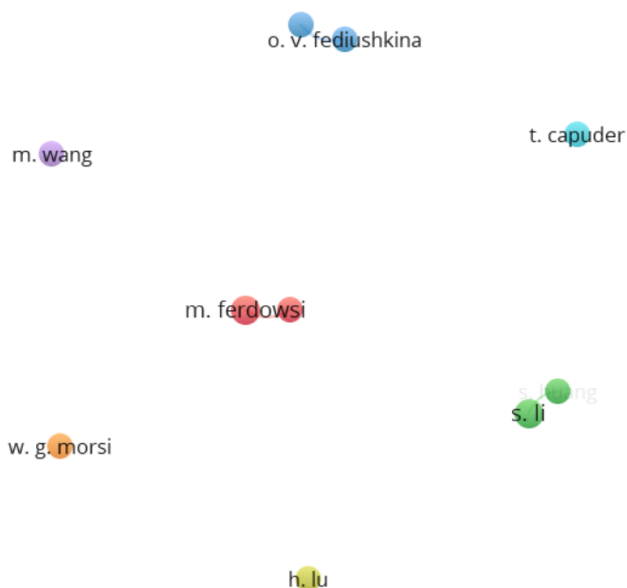


Ilustración 589: Mapa de contribuyentes para el equipo de Costo de baterías y vehículos eléctricos.

La ilustración muestra una red dispersa debido al carácter económico del tema con menor cooperación técnica.

13.2. Co-occurrence

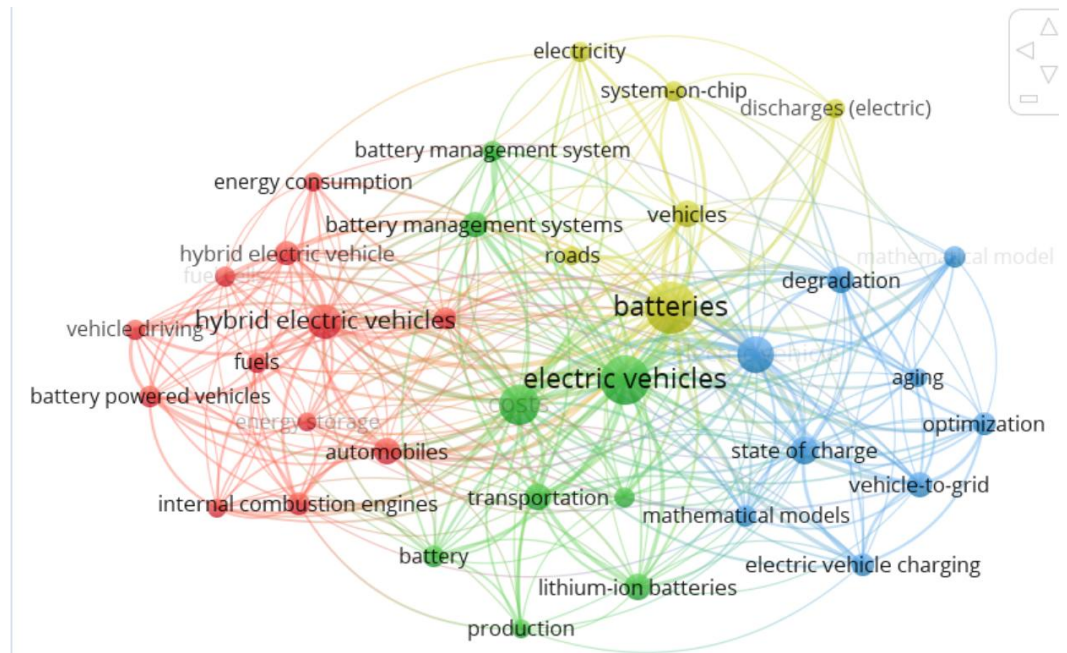


Ilustración 590: Mapa de eventos simultáneos para el equipo de Costo de baterías y vehículos eléctricos.

La ilustración muestra conceptos clave: análisis de costos, baterías para vehículos eléctricos, mercado, escalabilidad.

14. Battery recycling AND lithium-ion

14.1. Co-authorship

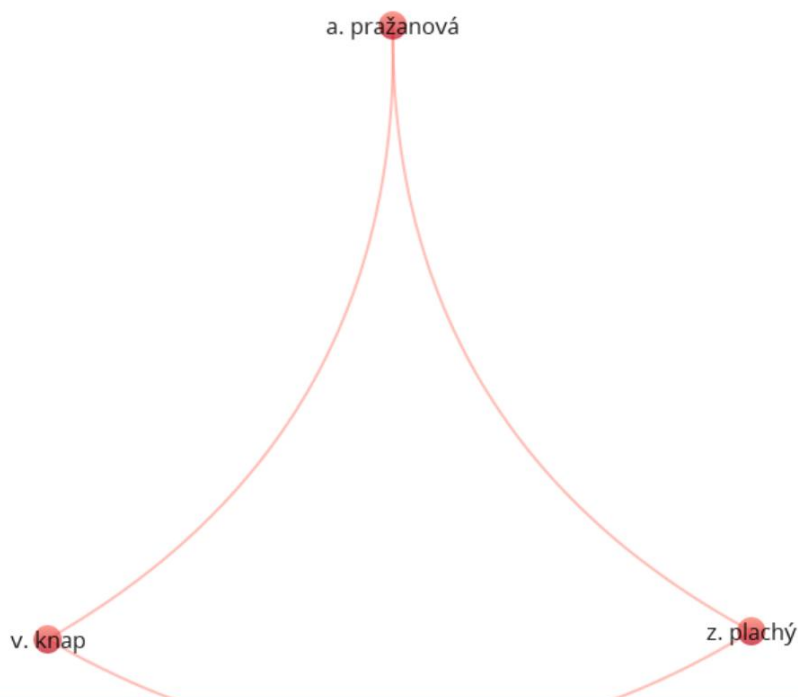


Ilustración 591: Mapa de coautoría para el comando Battery recycling AND lithium-ion.

La ilustración muestra un aumento de la coautoría en los artículos de estudios de economía circular.

14.2. Co-ocurrence

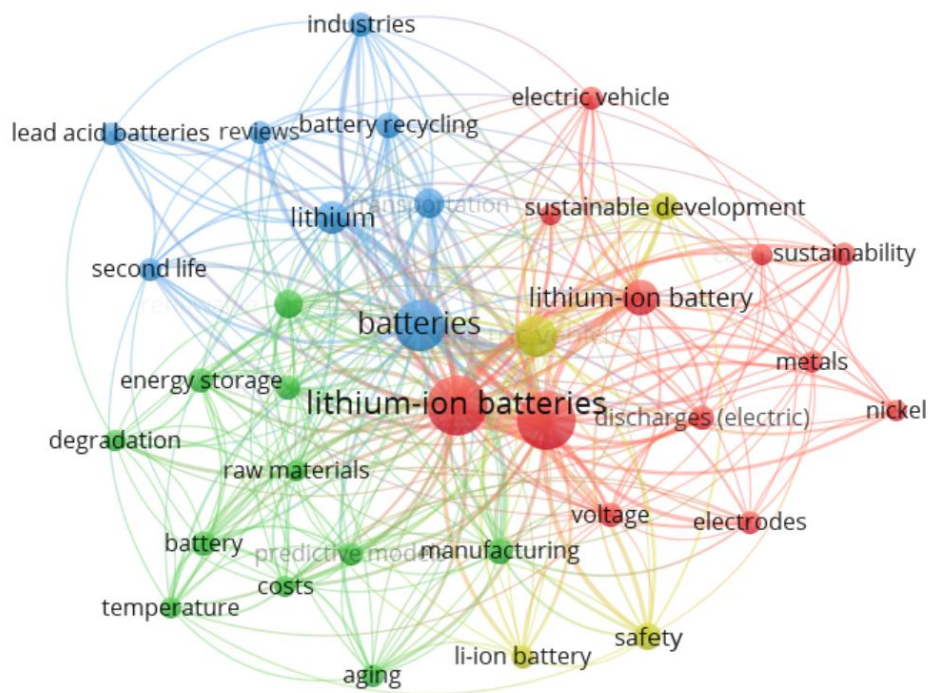


***Ilustración 592:** Mapa de co-ocurrencia para el comando Battery recycling AND lithium-ion.*

Las palabras clave mostradas en la ilustración son: reciclaje, ión de litio, sostenibilidad, recuperación de materiales.

15. Lithium-sulfur battery AND applications

15.1. Co-authorship

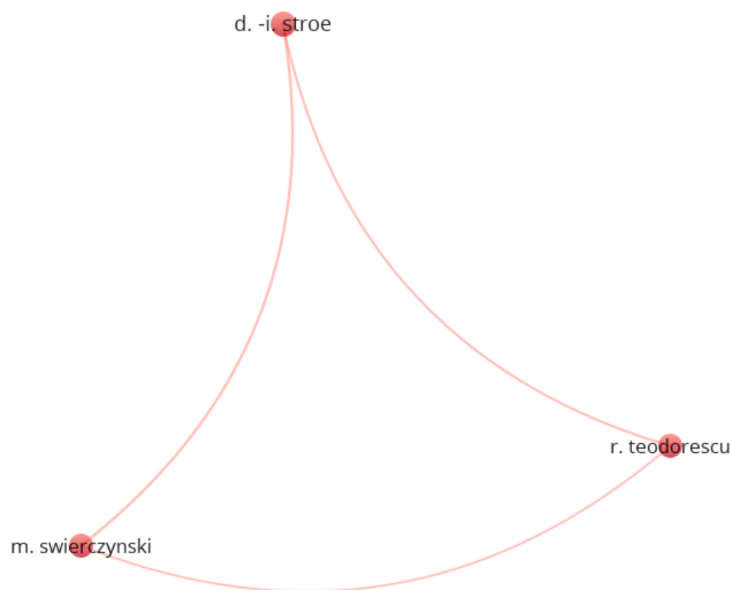


Ilustración 593: Mapa de contribuyentes del equipo de aplicaciones y baterías de litio-azufre.

La ilustración muestra algunos nodos propios de una nueva tecnología que aún se está probando.

15.2. Co-ocurrence

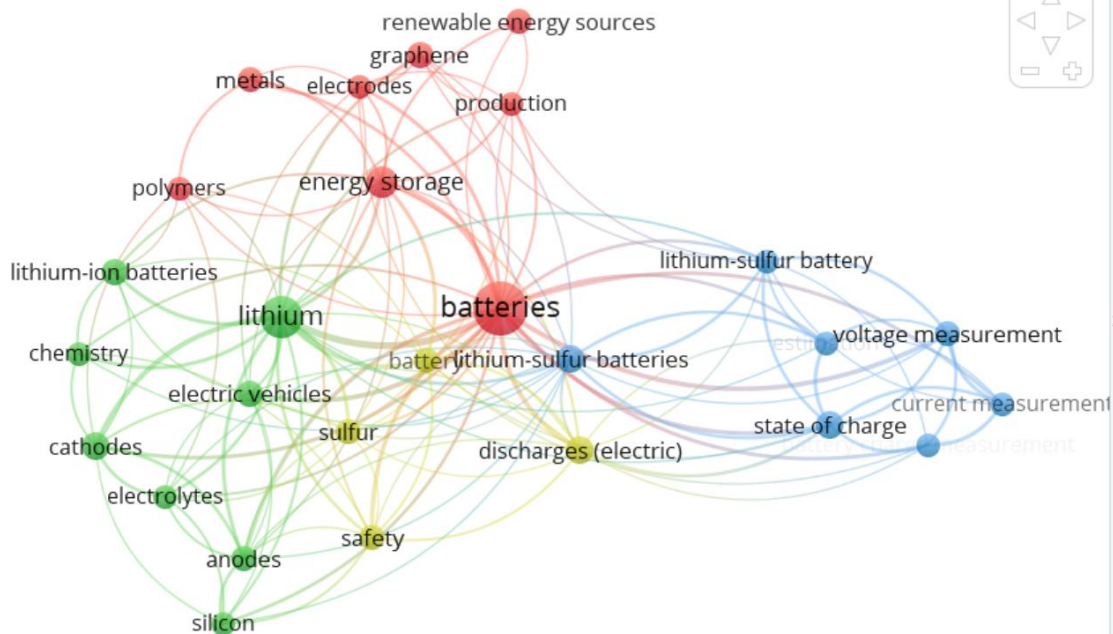


Ilustración 594: Mapa de co-ocurrencia para el comando Lithium-sulfur battery AND applications.

En la ilustración se indica que Li-S es emergente, alta energía, aplicaciones y con materiales novedosos.



16. Aluminum-air battery AND mobility

16.1. Co-occurrence

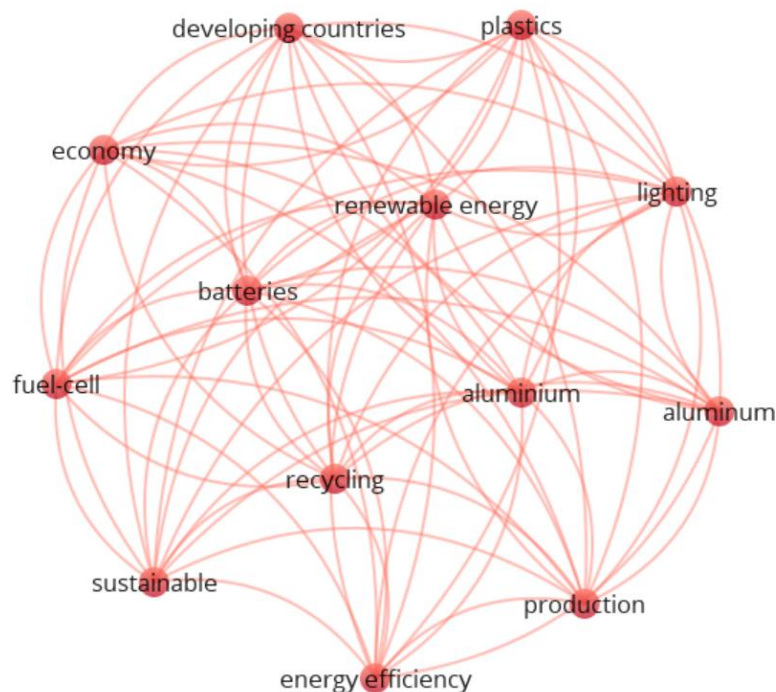


Ilustración 595: Mapa de co-ocurrencia para el comando Aluminum-air battery AND mobility.

El mapa muestra términos como Al-air, movilidad, cátodo de aire, con un pequeño número de enlaces.

17. Fast charging AND Li-ion battery

17.1. Co-authorship



f. blaabjerg

s. das

h. qidaa

m. das

Ilustración 596: Mapa de colaboración para el sistema de carga rápida Y batería de Li-ion.

La imagen refleja una gran cooperación científica debido a la importancia industrial de la carga rápida.

17.2. Co-ocurrence

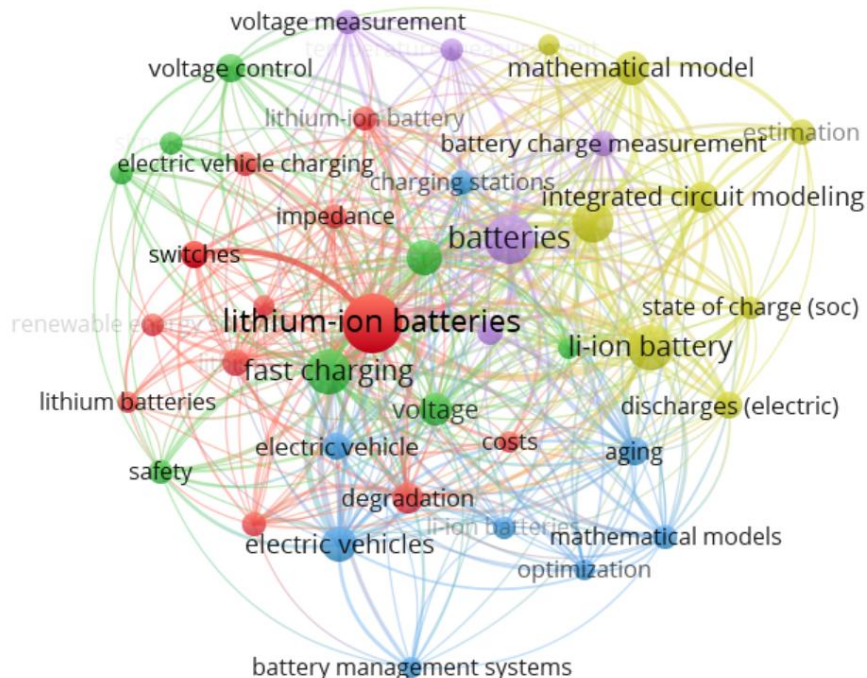


Ilustración 597: Mapa de coincidencia para el comando Carga rápida Y Batería de Li-ion.



Las palabras clave presentadas en la ilustración se centran en conceptos como carga rápida, Li-ion, electrónica de potencia y estrategias de carga.

18. Energy storage AND battery degradation

18.1. Co-authorship

y. liu

d. -i stroe
r. teodorescu

y. wang

Ilustración 598: Mapa de coautoría para el comando Energy storage AND battery degradation.

La ilustración muestra una red con grupos dispersos que comprenden almacenamiento y envejecimiento.

18.2. Co-ocurrence

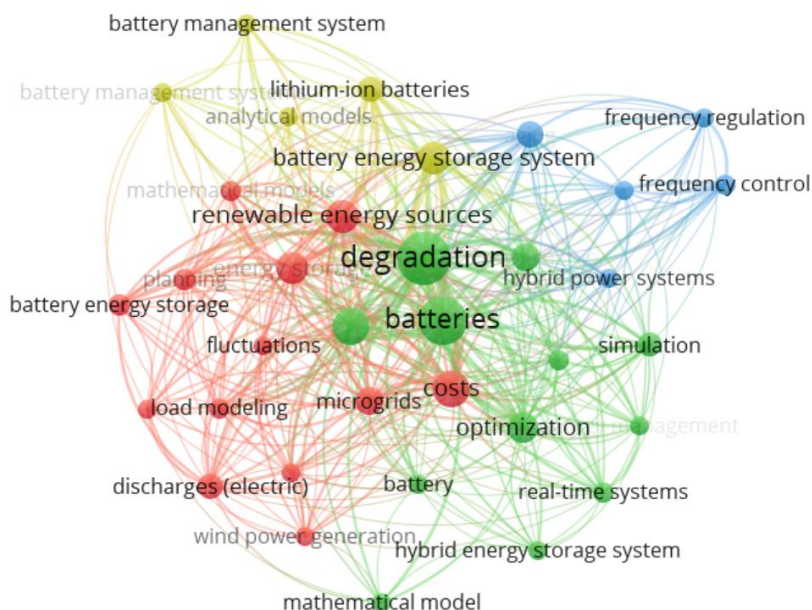


Ilustración 599: Mapa de co-ocurrencia para el comando *Energy storage AND battery degradation*.

Las palabras clave mostradas en la ilustración son: almacenamiento de energía, degradación, vida útil, modelado.

19. Commercial battery AND vehicle

19.1. Co-authorship

Ilustración 600: Mapa de coautoría para el comando `Commercial battery AND vehicle`.



La ilustración muestra una red muy pequeña y limitada y con pocos autores conectados.

19.2. Co-occurrence

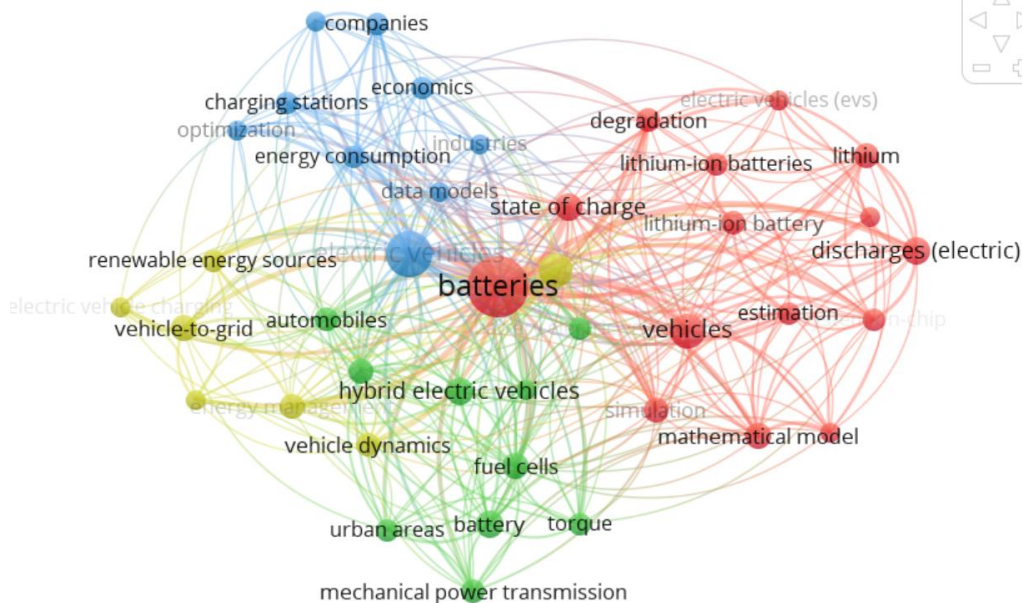


Ilustración 601: Mapa de co-ocurrencia para el comando Commercial battery AND vehicle.

20. Electric vehicle battery AND technical characteristics

20.1. Co-authorship

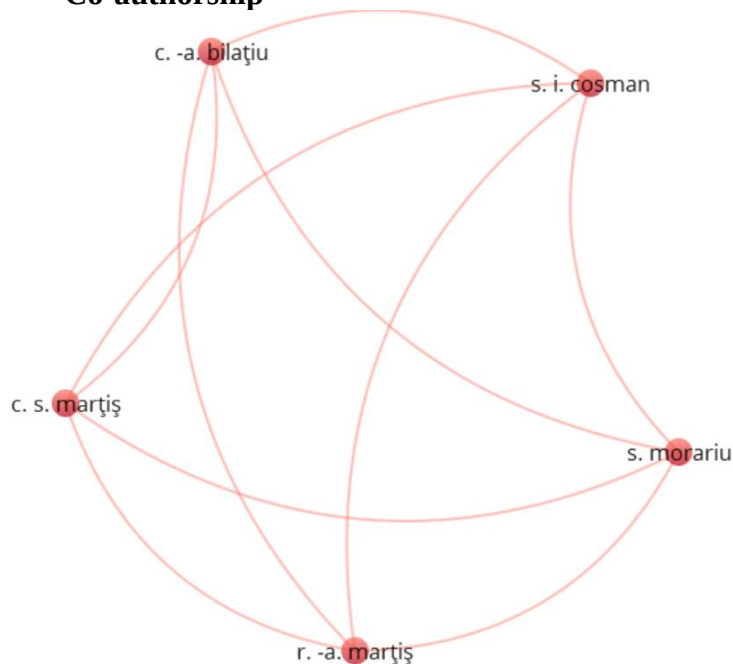


Ilustración 602: Mapa de coautoría para el comando Electric vehicle battery AND technical characteristics.



En esta ilustración se encontraron un pequeño número de nodos, relacionados con un pequeño número de artículos.

20.2. Co-ocurrence

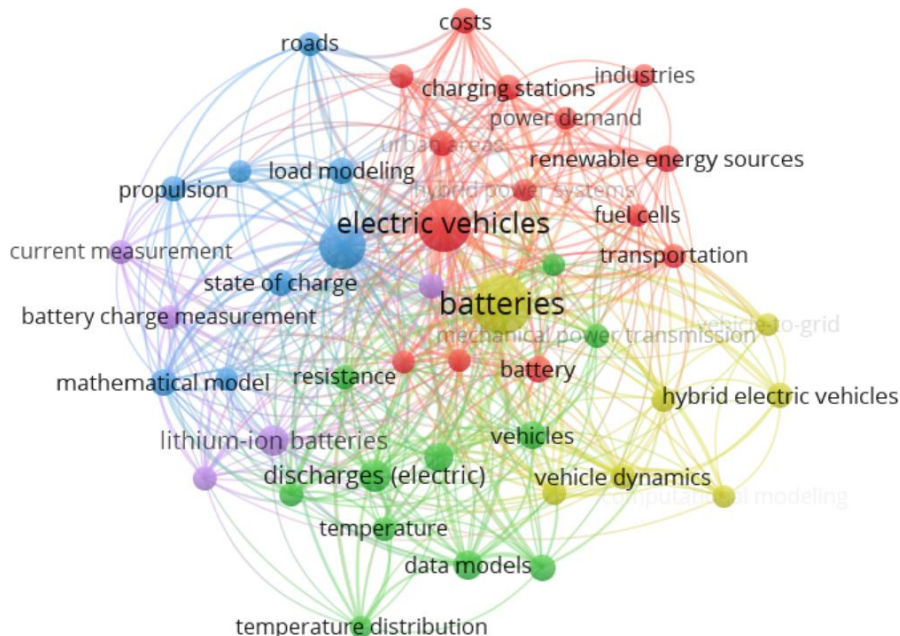


Ilustración 603: Mapa de co-ocurrencia para el comando *Electric vehicle battery AND technical characteristics*.

Las palabras clave de la ilustración se centran en las características técnicas, la capacidad, el control, la conducta de carga, reflejando un punto de vista técnico muy concreto.

4.4.2.1. Análisis general de los mapas de vosviewer en IEEE Xplore

En la tabla ilustrada a continuación se muestra un resumen de los patrones observados en los mapas de todos los comandos aplicados en VOSviewer. Esta tabla resume las propiedades comunes y divergentes de las redes temáticas, incluyendo entre otros, la densidad del nodo, el comportamiento de la agrupación, la concentración de autores líderes, y la distribución del interés científico hacia tecnologías maduras, emergentes o marginales. Este estudio proporciona una visión general del índice de investigación global indizada en IEEE Xplore, y su significancia en el análisis del rendimiento bibliométrico dado para baterías comerciales de vehículos eléctricos.

Tabla 30: Análisis general de los mapas de VOSviewer

Patrón observado	Interpretación
Alta densidad de nodos en Li-ion	Muestra madurez tecnológica y alta producción científica



Red dispersa en tecnologías emergentes	Indica fase temprana y exploratoria
Clústeres grandes en comandos de degradación, seguridad y gestión térmica	Relevancia industrial y aplicada
Pocas conexiones en NiMH y Al-air	Tecnologías residuales o experimentales
Co-ocurrencia muy rica en charging & efficiency	La electrónica de potencia domina el desarrollo actual del VE
Autores líderes aparecen repetidamente (Emadi, Chemali, Reimers, etc.)	Indica grupos de investigación consolidados

4.4.2.2. Clústeres temáticos generales identificados con VOSviewer

Desde el análisis completo elaborado de los mapas de co-ocurrencia generados para los veinte comandos fue posible identificar patrones temáticos recurrentes que hacen de nudos conceptuales alrededor de los cuales aparecieron tecnologías diferentes, agrupándolas bajo redes conceptuales compartidas. La tabla mostrada a continuación hace una verificación de estos clústeres generales, donde emergen núcleos de investigación consolidados y áreas emergentes vinculadas con baterías comerciales para vehículos eléctricos. Cada clúster proporciona una dirección temática, por ejemplo, conductas energéticas y seguridad, tecnologías pos-Li-ion y químicas experimentales. Esta información es fundamental para leer el comportamiento general del repositorio y su dinámica temática en el dominio de la electromovilidad.

Tabla 31: Clústeres temáticos generales identificados con VOSviewer

Clúster	Color	Descripción temática	Comandos asociados
1. Optimización y seguridad Li-ion	Rojo	Rendimiento, seguridad, parámetros técnicos	Li-ion density, Li-ion safety, thermal runaway, fast charging, technical characteristics
2. Degradación y ciclo de vida	Azul	SOH, envejecimiento, eficiencia y térmica	Degradation, thermal management, lifespan, storage-degradation
3. Eficiencia, carga y electrónica de potencia	Verde	Procesos de carga, estabilidad LFP, vida híbrida	Charging efficiency, LFP efficiency, hybrid lifetime



4. Tecnologías emergentes pos-Li-ion	Amarillo	Nuevas químicas de baterías	Solid-state, sodium-ion, lithium-sulfur
5. Tecnologías marginales	Gris	Químicas exploradas poco o declinantes	NiMH, Aluminum-air, Commercial battery

4.4.2.3. Panorama general de los comandos aplicados en IEEE Xplore

La tabla mostrada a continuación ilustra un resumen que compara el enfoque de alto nivel de cada comando, las tendencias temporales entre 2005 y 2024 y el grado de madurez tecnológica. Esta contextualización hace posible distinguir qué tecnologías se encuentran ya en una fase de consolidación científica, cuáles están transicionando hacia aplicaciones comerciales y cuáles están en un estado emergente o experimental.

Tabla 32: Panorama general de los comandos aplicados en IEEE Xplore

Comando bibliométrico	Enfoque principal	Tendencia 2005–2024	Madurez tecnológica
Li-ion battery AND energy density	Densidad energética y rendimiento	Crecimiento sostenido	Alta / Comercial
Lithium-ion batteries AND battery degradation	Degradación y envejecimiento	Fuerte aumento	Alta / Comercial
Li-ion battery AND safety	Seguridad operativa	Crecimiento moderado	Media / En desarrollo
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	NiMH y aplicaciones en VE	Tendencia decreciente	Baja / Residual
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Eficiencia y estabilidad térmica	Estable	Media / Comercial
Solid-state battery AND commercialization	Comercialización de baterías SSB	Emergente	Baja / Experimental
Sodium-ion battery AND performance	Rendimiento Na-ion	Acelerada	Media / Emergente
Hybrid battery AND lifetime	Vida útil híbrida	Moderada	Baja / Experimental



Battery efficiency AND charging	Eficiencia en procesos de carga	Alta y estable	Alta / Comercial
Battery lifespan AND Li-ion	Vida útil Li-ion	Moderada	Media / En desarrollo
Battery thermal management AND vehicle	Gestión térmica	Alta	Media / Aplicada
Battery safety AND thermal runaway	Fuga térmica	Constante	Media / Crítica
Battery cost AND electric vehicles	Costos y mercado	Creciente	Media / Económica
Battery recycling AND lithium-ion	Reciclaje y sostenibilidad	Alta	Media / Circular
Lithium-sulfur battery AND applications	Aplicaciones Li-S	Emergente	Baja / Experimental
Aluminum-air battery AND mobility	Movilidad Al-air	Muy baja	Baja / Experimental
Fast charging AND Li-ion battery	Carga rápida	Crecimiento fuerte	Media / Emergente
Energy storage AND battery degradation	Almacenamiento y degradación	Constante	Media / Multidisciplinaria
Commercial battery AND vehicle	Baterías comerciales	Baja	Baja / Inicial
Electric vehicle battery AND technical characteristics	Parámetros técnicos	Moderada	Baja / Aplicada

4.4.2.4. Patrones bibliométricos de VOSviewer aplicados a los comandos bibliométricos

Posteriormente, se analizaron los patrones de coautoría y coocurrencia en los mapas creados por VOSviewer para cada uno de los comandos. La siguiente tabla presenta los autores con la mayor Fortaleza del enlace total (TLS), los clústeres cromáticos dominantes y el tema focal típico de cada red. Este conocimiento ayuda a explicar cómo se forma la colaboración científica en torno a cada tópico y los núcleos conceptuales que cohesionan la investigación dentro de IEEE Xplore. Esta tabla



también se proporciona para comparar las tendencias entre tecnologías establecidas, tecnologías emergentes y comunidades latentes decaerentes.

Tabla 33: Patrones bibliométricos de VOSviewer aplicados a los comandos bibliométricos

Comando bibliométrico	Autores relevantes (TLS)	Clúster dominante	Foco temático
Li-ion battery AND energy density	Emadi, Chemali	Rojo	Optimización energética
Lithium-ion batteries AND battery degradation	Reimers, Wood	Azul	Modelado de degradación
Li-ion battery AND safety	Wootton	Rojo	Análisis de seguridad
Nickel metal hydride battery AND electric vehicle	(Baja colaboración)	Gris	Tecnología residual
Lithium iron phosphate battery AND efficiency	Mesbahi	Verde	Estabilidad LFP
Solid-state battery AND commercialization	Yamamoto	Amarillo	Comercialización SSB
Sodium-ion battery AND performance	Hirayama	Amarillo	Rendimiento Na-ion
Hybrid battery AND lifetime	Banaei	Verde	Vida útil híbrida
Battery efficiency AND charging	Teodorescu	Azul	Eficiencia en carga
Battery lifespan AND Li-ion	Iriyama	Verde	Envejecimiento Li-ion
Battery thermal management AND vehicle	Stroe	Azul	Gestión térmica
Battery safety AND thermal runaway	Ghosh	Rojo	Fuga térmica
Battery cost AND electric vehicles	(Disperso)	Rojo	Análisis económico



Battery recycling AND lithium-ion	(Varios)	Verde	Sostenibilidad
Lithium-sulfur battery AND applications	(Emergente)	Amarillo	Li-S
Aluminum-air battery AND mobility	(Escasa)	Gris	Movilidad experimental
Fast charging AND Li-ion battery	Kuperman	Verde	Estrategias de carga rápida
Energy storage AND battery degradation	(Diversos)	Azul	Integración almacenamiento–degradación
Commercial battery AND vehicle	(Pocos autores)	Gris	Evaluación comercial
Electric vehicle battery AND technical characteristics	(Diversos)	Rojo	Parámetros técnicos

4.4.2.5. Análisis general integrado de los comandos bibliométricos

De acuerdo con la combinación de los mapas de coautoría y coocurrencia para todos los 20 comandos encontrados en IEEE Xplore, fue factible rastrear varios patrones generales que definen la investigación en las baterías de los vehículos eléctricos. Estos patrones globales se recogen en la Tabla posterior, enfatizando aspectos tales como la densidad de las redes, la forma de los agrupamientos (clusters), la repetitividad de autores líderes y el grado de consolidación o inicios de las diferentes tecnologías. Por lo tanto, la tabla resume los aspectos esenciales para leer la estructura bibliométrica global del campo y su desarrollo en el repertorio de la literatura especializada técnica.

Tabla 34: Análisis general integrado de los comandos bibliométricos

Patrón observado	Interpretación
Alta densidad en Li-ion	Campo consolidado y maduro
Baja densidad en Al-air y NiMH	Tecnologías casi abandonadas
Clústeres grandes en degradación y gestión térmica	Problemas críticos en VE



Autores líderes repetidos	Concentración de la investigación en pocos grupos
Redes dispersas en tecnologías emergentes	Fase exploratoria
Co-ocurrencia intensa en comandos de carga rápida	Prioridad industrial

El análisis bibliométrico de IEEE Xplore realizado mediante VOSviewer y Microsoft Excel fue capaz de realizar una caracterización completa de la literatura científica sobre baterías comerciales para vehículos eléctricos. El análisis en Excel ayudó a revelar patrones cuantitativos, incluyendo la progresión temporal, el tipo de documentos, y la especialización del autor, mientras que VOSviewer facilitó el análisis temático y la colaboración a nivel de red dentro de los estudios considerados. En conjunto, los resultados sugieren la coexistencia de tecnologías maduras, líneas de investigación prometedoras aún en desarrollo, y lagunas significativas, y contribuyen directamente al logro del objetivo específico 3 de este trabajo.

4.5. Identificación de tecnologías emergentes y tendencias de investigación en baterías comerciales para vehículos eléctricos

Tras llevar a cabo el análisis por separado de los comandos bibliométricos en cada una de las bases de datos científicas, se procede a fusionar los resultados para identificar patrones generales, tendencias coincidentes y proyecciones tecnológicas en nivel macro. En este sentido, esta sección busca hacer un resumen de los resultados más importantes en el estudio bibliométrico, centrado en la detección de tecnologías emergentes y tendencias investigativas relacionadas a baterías de vehículos eléctricos comerciales.

Primero, se establecerá la diferenciación de tecnologías ya establecidas y tecnologías que están emergiendo, esto se lleva a cabo mediante indicadores bibliométricos como fuerza del número de publicaciones, crecimiento temporal y densidad de redes científicas. A continuación, se examinan las tecnologías emergentes reconocidas a partir de los comandos bibliométricos anteriormente aplicados destacando su dinámica científica y nivel de desarrollo. Complementariamente, se estudian las tecnologías con baja producción científica y con alto potencial tecnológico futuro.

A su vez, se detectaron algunas tendencias transversales comunes en todas las tecnologías de baterías, tales como: la seguridad, la gestión térmica, la carga rápida y la sostenibilidad, cuyo comportamiento es similar en las bases de datos revisadas. En ese contexto, se consagra un apartado especial para aquellas que demuestran que tales convergencias fueron obtenidas mediante la operación sistemática de los comandos bibliométricos previamente definidos metodológicamente.



En esta sección se muestra por último una detección de las baterías del futuro basada en el análisis bibliométrico combinado que permite observar qué tecnologías es más probable que se desarrollen y tengan mayor impacto en la movilidad eléctrica. Esta sección finaliza con una síntesis prospectiva que aglomera los resultados y demuestra la consecución del objetivo específico 3 del presente trabajo de grado.

4.5.1. Tecnologías consolidadas frente a tecnologías emergentes

El análisis bibliométrico combinado de la literatura realizada en las bases de datos de Scopus, Web of Science, SciELO e IEEE Xplore permite distinguir claramente 2 grandes categorías tecnológicas en el área de las baterías comerciales para vehículos eléctricos: las tecnologías maduras y las tecnologías futuras.

Las baterías basadas en iones de litio, sobre todo las relacionadas con las químicas NMC, NCA y LFP, tienen una gran cantidad de publicaciones, redes densas de coautoría y clústeres temáticos muy definidos. Estos parámetros bibliométricos demuestran un alto grado de madurez científico-tecnológica, donde la investigación tiende a la optimización del rendimiento, disminución de costos, mejoramiento de la seguridad y extensión de vida útil. En este sentido, estas tecnologías no pueden clasificarse como iniciales o incipientes, sino que están completamente consolidadas en el mercado y la literatura científica.

Al contrario, otras tecnologías muestran un diferente desempeño bibliométrico, con una menor producción científica, clústeres más pequeños y una armonía menor en términos temáticos, ubicándolas como tecnologías emergentes para su exploración y desarrollo.

4.5.2. Tecnologías emergentes identificadas mediante los indicadores bibliométricos

Basándose en los comandos bibliométricos procesados, las tecnologías emergentes pueden identificarse como aquellas que han crecido recientemente en número de publicaciones, con baja densidad de redes de colaboración y centradas en un área temática especializada de investigación. Entre estas tecnologías se encuentran:

- Las baterías de estado sólido presentan una tendencia en constante aumento en la tasa de publicaciones científicas, destacando: la seguridad, la densidad energética y la viabilidad de la comercialización.
- Las baterías de ion de sodio, la única opción madura que puede servir como sustituto estratégico del dominio de las baterías de ion de litio, con estudios sobre el rendimiento electroquímico y la disponibilidad de materiales.
- Las baterías de litio-azufre tienen una alta densidad energética, pero son baterías comercialmente no explotadas.



- Las baterías metal-aire, especialmente aluminio-aire, para las que la producción científica aún es escasa, pero con posibles aplicaciones en movilidad eléctrica de largo alcance.

El comportamiento bibliométrico de estas tecnologías sugiere una etapa temprana en el desarrollo en la que la investigación se dirige a la demostración de conceptos y a abordar las limitaciones técnicas y su futuro.

4.5.3. Tecnologías con baja producción científica y alto potencial tecnológico

El estudio de las tablas de baja producción ilustradas en los apartados anteriores muestra que algunas tecnologías tienen un desarrollo muy limitado en la literatura, particularmente en las bases de datos regionales. Sin embargo, esta baja producción no refleja una falta de importancia, sino más bien un reflejo de oportunidades de investigación.

Especialmente las tecnologías metal-air y litio-azufre presentan un bajo número de publicaciones, clústeres separados y una cooperación institucional en estos temas muy limitada. Estas propiedades son características esperables de tecnologías en fase experimental, y su desarrollo futuro podría dar lugar a rompimientos en almacenamiento de energía para vehículos eléctricos.

Desde una perspectiva bibliométrica, estas tecnologías constituyen nichos estratégicos para futuras investigaciones, particularmente en regiones con acceso a materias primas y demandas de soluciones energéticas sostenibles.

4.5.4. Tendencias transversales en la investigación de baterías comerciales

Al margen de las sustancias químicas específicas, los análisis bibliométricos muestran tendencias transversales que afectan tanto a tecnologías maduras como a emergentes. Entre las principales líneas de investigación se identifican:

- El manejo del calor de las baterías para aumentar la seguridad y vida útil de las mismas.
- Seguridad y prevención de thermal runaway (fugas térmicas), con especial atención en sistemas de monitoreo y control.
- Carga rápida, por influencia directa en la masificación de los vehículos eléctricos.
- Reciclaje y economía circular, frente a los retos medioambientales vinculados al ciclo de vida de las baterías.
- Sistemas inteligentes de gestión de baterías (BMS), que incorporan algoritmos avanzados para maximizar el rendimiento y la seguridad.

Estas tendencias representan un cambio de enfoque de la investigación, donde el interés no sólo es el desarrollo de nuevas químicas sino de la optimización global del sistema almacenamiento energético.



4.5.5. Coincidencias en las tendencias de investigación entre bases de datos científicas

El análisis de los resultados entre las bases de datos Scopus, Web of Science, SciELO e IEEE Xplore muestra un conjunto de concordancias evidentes en los temas de investigación relacionados con baterías comerciales para EV. Esas coincidencias no se deben a observaciones puntuales, sino que son resultado directo de la ejecución sistemática de los comandos bibliométricos establecidos en la metodología y que se llevaron a cabo de la misma manera en todas las bases de datos consideradas.

En primer lugar, en todas las bases de datos la referencia son las baterías de iones de litio como la tecnología dominante y consolidada con alta producción científica y esta situación se mantiene en el tiempo. Los comandos relacionados con densidad energética, degradación, seguridad, gestión térmica y carga rápida producen resultados robustos que afirman la madurez de la tecnología y la investigación en optimización y mejora continua.

En segundo lugar, aparece una convergencia potente en que las líneas emergentes están compuestas por nuevas químicas, en particular las baterías sólidas, sodio-ion, litio-azufre y metal-aire. Si bien se observan diferencias de tamaño en la producción científica entre bases internacionales y regionales, es posible identificar que mediante el uso de comandos bibliométricos se visualizan recurrentemente estas tecnologías, demostrando interés creciente y sostenido en la literatura científica.

Además, todos ellos muestran una convergencia temática con problemas críticos de desempeño en baterías tales como: seguridad, gestión térmica, vida útil y reciclado. Estas convergencias indican que la investigación vigente no implica únicamente desarrollar nuevas tecnologías, sino que se centra más en soluciones muy amplias desde un punto de vista sostenible y fiable para los sistemas de almacenamiento energético.

Por tanto, las coincidencias encontradas entre las diferentes bases de datos confirman la robustez del procedimiento diseñado y ponen de manifiesto que los comandos bibliométricos ejecutados son capaces de obtener tendencias globales y locales de una forma sólida y varias veces replicable.

4.5.6. Identificación de las baterías del futuro a partir del análisis bibliométrico

Teniendo en cuenta las coincidencias observadas entre las bases de datos científicas y la aplicación integrada de los comandos bibliométricos, se puede discernir un conjunto de tecnologías que se visibilizan como las baterías del futuro en el ámbito de la movilidad eléctrica.



Las baterías de estado sólido (SSB) podrían considerarse la principal tecnología de predicción futura debido a la capacidad de obtener más densidades de energía, mejores niveles de seguridad y disminución considerable del riesgo de fallos térmicos. La frecuente presencia de esta tecnología en los resultados de los análisis bibliométricos vinculados a la comercialización, la seguridad y el rendimiento refuerza su relevancia como una opción estratégica a mediano y largo plazo.

Las baterías de ion-sodio se proponen como una alternativa factible ante las inquietudes relacionadas con la disponibilidad y los costos de los materiales empleados en las baterías de litio. El estudio bibliométrico revela un aumento en el interés por su rendimiento electroquímico y su posible uso en vehículos eléctricos, sobre todo en regiones donde la sostenibilidad y el acceso a recursos son determinantes. Mientras tanto, las baterías de litio-azufre y metal-aire resultan tecnologías emergentes con una gran capacidad para destronar la situación tecnológica actual, debido a que poseen una densidad energía elevada y existe una limitada producción científica. La repetición de estas tecnologías en los comandos de búsqueda bibliométrica, a pesar de su baja densidad de publicaciones, hace sugerir que se trata de un estadio de investigación incipiente para estas, con numerosas posibilidades de crecimiento.

En definitiva, el análisis permite concluir que la batería del futuro no será solo química, sino también gestión inteligente, nuevas estrategias avanzadas de seguridad, nuevos enfoques en economía circular, etc., tecnologías que se encuentran de forma recurrente en los resultados de todos las bases de datos consultadas.

4.5.7. Síntesis de las tendencias y tecnologías emergentes

En síntesis, el análisis bibliométrico presentado en este capítulo permite una aproximación clara y justificada a las principales líneas y tecnologías emergentes de investigación dentro del dominio de las baterías de vehículos eléctricos comerciales. Baterías de iones de litio siguen dominando como tecnología madura, mientras baterías de estado sólido, sodio-ion, litio-azufre y metal-aire, aparecen como líneas de investigación con alto potencial de desarrollo futuro.

De igual manera, se identifica un cambio hacia soluciones globales enfocadas a la seguridad, sostenibilidad, gestión térmica y desempeño operacional como dirección de investigación científica en años venideros. Estos resultados revelan que al señalar las tecnologías emergentes y las tendencias estratégicas que marcarán la evolución de almacenamiento energético para movilidad eléctrica.



Conclusiones

- La investigación científica sobre baterías comerciales para vehículos eléctricos ha ido aumentando de forma constante durante las dos últimas décadas, lo que confirma la importancia estratégica de estas tecnologías en el contexto de la transición de la movilidad eléctrica. Mediante un análisis sistemático de bases de datos internacionales y regionales e identificando patrones claros de producción y colaboración científica, así como concentración temática, se demostró que el enfoque bibliométrico aplicado era adecuado y eficaz para lograr el objetivo general de esta investigación.
- Los resultados anteriores han permitido la descripción y distinción de las baterías comerciales más comunes utilizadas en vehículos eléctricos, cuyos niveles de madurez están respaldados por indicadores bibliométricos objetivos. Las baterías de iones de litio y derivados siguen siendo tecnologías maduras y dominantes, mientras que otras alternativas como las baterías de sodio-ion, litio-azufre, de estado sólido y metal-aire, se manifiestan como tecnologías menos maduras según el análisis de madurez, pero con un alto potencial tecnológico, lo que las sitúa como opciones relevantes para el desarrollo futuro de la industria de los vehículos eléctricos.
- El análisis de tendencias conjuntas hizo posible detectar claros alineamientos en las diferentes bases de datos sobre las líneas de investigación emergentes, en donde aparecieron temas relacionados con seguridad, gestión térmica, reducción de costo, reciclaje y carga rápida. Estas tendencias son una respuesta directa a las limitaciones de las tecnologías convencionales y permiten concluir que los objetivos específicos fueron alcanzados, respondiendo a la pregunta de investigación y proporcionando un soporte científico con el que se podrán dirigir investigaciones futuras, decisiones industriales y para el diseño de política pública dentro del área de movilidad eléctrica, más aún en el contexto ecuatoriano.

**Recomendaciones**

- Ampliar el enfoque metodológico de futuros estudios incorporando indicadores adicionales a los del análisis bibliométrico como los estudios de ciclo de vida, impacto ambiental, costos de producción, y disponibilidad de materias primas, especialmente en contexto regional y nacional. Debido a que la constatación de que la mayor parte de la producción científica está centrada en análisis tecnológicos globales, sin embargo, las variables socioeconómicas y territoriales, que son fundamentales para orientar la toma de decisiones en términos de políticas públicas y estrategias de implementación de vehículos eléctricos en países como Ecuador, se encuentran muy poco integradas.



Referencias bibliográficas.

- [1] «Kiehne - 2003 - Battery Technology Handbook.pdf».
- [2] C. Dong, C. Liu, Z. Qin, J. Deng, y Y. Zhu, «A comprehensive overview of decommissioned lithium-ion battery recycling: Towards green and economical», *Sep. Purif. Technol.*, vol. 354, 2025, doi: 10.1016/j.seppur.2024.128929.
- [3] A. Suryatna *et al.*, «A Review of High-Energy Density Lithium-Air Battery Technology: Investigating the Effect of Oxides and Nanocatalysts», *J. Chem.*, vol. 2022, n.º 1, p. 2762647, 2022, doi: 10.1155/2022/2762647.
- [4] «Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance | Semantic Scholar». Accedido: 18 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Competitive-Advantage:-Creating-and-Sustaining-Porter/9c29a88c90488d494523f0bb47633a77e3dec915>
- [5] «Bucur - 2018 - Challenges of a Rechargeable Magnesium Battery.pdf».
- [6] «Rodriguez - TENDENCIAS CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LAS BATER.pdf». Accedido: 25 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.altecasociacion.org/bitstream/handle/20.500.13048/1319/200.668.pdf?sequence=1>
- [7] «Farré_Delgado_Emma_CHARACTERIZACIÓN BATERÍAS ION LITIO UTILIZADAS EN LA MOBILIDAD ELÉCTRICA.pdf».
- [8] «Campoverde-Pillco et al. - 2024 - Reutilización de baterías de vehículos eléctricos .pdf».
- [9] «Pistoia y Liaw - 2018 - Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Veh.pdf».
- [10] «1-s2.0-0167273881900771-main.pdf».
- [11] K. Mizushima, P. C. Jones, P. J. Wiseman, y J. B. Goodenough, « Li_xCoO_2 ($0 < x < 1$): A new cathode material for batteries of high energy density», *Mater. Res. Bull.*, vol. 15, n.º 6, pp. 783-789, jun. 1980, doi: 10.1016/0025-5408(80)90012-4.
- [12] J. Duan *et al.*, «Building Safe Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: A Review», *Electrochem. Energy Rev.*, vol. 3, n.º 1, pp. 1-42, mar. 2020, doi: 10.1007/s41918-019-00060-4.
- [13] L. G. G. Morales, «Franklin Medardo Pillco Valladolid CI: 0104545322».
- [14] S. Bobba, F. Mathieux, y G. A. Blengini, «How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 145, pp. 279-291, jun. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.02.022.
- [15] «CATL launches CTP 3.0 battery “Qilin,” achieves the highest integration level in the world». Accedido: 9 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.catl.com/en/news/958.html>
- [16] D. Andre *et al.*, «Future generations of cathode materials: an automotive industry perspective», *J. Mater. Chem. A*, vol. 3, n.º 13, pp. 6709-6732, mar. 2015, doi: 10.1039/C5TA00361J.
- [17] O. C. Harris y M. H. Tang, «Deconvoluting Li-Ion Battery Electrode Crosstalk with Electrochemical Generator-Collector Measurements», *ECS Meet. Abstr.*, vol. MA2019-02, n.º 5, p. 199, sep. 2019, doi: 10.1149/MA2019-02/5/199.
- [18] A. Manthiram, «A reflection on lithium-ion battery cathode chemistry», *Nat. Commun.*, vol. 11, n.º 1, p. 1550, mar. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15355-0.



- [19] G. Zhao, X. Wang, y M. Negnevitsky, «Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management», *iScience*, vol. 25, n.º 2, p. 103744, feb. 2022, doi: 10.1016/j.isci.2022.103744.
- [20] J. Janek y W. G. Zeier, «A solid future for battery development», *Nat. Energy*, vol. 1, n.º 9, pp. 1-4, sep. 2016, doi: 10.1038/nenergy.2016.141.
- [21] «Full Text PDF». Accedido: 24 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://revistas.iaen.edu.ec/index.php/estado_comunes/article/download/69/71
- [22] G. Zhao, X. Wang, y M. Negnevitsky, «Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management», *iScience*, vol. 25, n.º 2, p. 103744, feb. 2022, doi: 10.1016/j.isci.2022.103744.
- [23] S. Engelke, «Current and future sodium-ion battery research», vol. 1, n.º 1, 2013.
- [24] J. Campoverde-Pillco, D. Ochoa-Correa, E. Villa-Ávila, y P. Astudillo-Salinas, «Reutilización de baterías de vehículos eléctricos para aplicaciones de segunda vida en sistemas eléctricos de potencia con una alta penetración de energía renovable: una revisión sistemática de la literatura», *Ingenius*, n.º 31, pp. 95-105, ene. 2024, doi: 10.17163/ings.n31.2024.08.
- [25] L. G. G. Morales, «Franklin Medardo Pillco Valladolid CI: 0104545322».
- [26] L. Gaines, «Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course», *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 17, p. e00068, sep. 2018, doi: 10.1016/j.susmat.2018.e00068.
- [27] P. J. Hall *et al.*, «Energy storage in electrochemical capacitors: designing functional materials to improve performance», *Energy Environ. Sci.*, vol. 3, n.º 9, p. 1238, 2010, doi: 10.1039/c0ee00004c.
- [28] C. Jorgensen *et al.*, «Permeability Benchmarking: Guidelines for Comparing in Silico, in Vitro, and in Vivo Measurements», *J. Chem. Inf. Model.*, ene. 2025, doi: 10.1021/acs.jcim.4c01815.
- [29] B. Dunn, H. Kamath, y J.-M. Tarascon, «Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices», *Science*, vol. 334, n.º 6058, pp. 928-935, nov. 2011, doi: 10.1126/science.1212741.
- [30] L. Chen *et al.*, «Global increase in the occurrence and impact of multiyear droughts», *Science*, vol. 387, n.º 6731, pp. 278-284, ene. 2025, doi: 10.1126/science.ado4245.
- [31] «publicacion_20225188248.pdf». Accedido: 18 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://sga.unae.edu.ec/media/publicacionpersona/2022/05/18/publicacion_20225188248.pdf
- [32] «Ministerio de Energía y ANETA apuestan por la movilidad eléctrica en el Ecuador – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 18 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/ministerio-de-energia-y-aneta-apuestan-por-la-movilidad-electrica-en-el-ecuador/>
- [33] C. B. Bucur, *Challenges of a Rechargeable Magnesium Battery*. en SpringerBriefs in Energy. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-65067-8.
- [34] «insitu.pdf».
- [35] Richard, «Thomas Edison's Nickel-Iron Batteries», News about Energy Storage, Batteries, Climate Change and the Environment. Accedido: 9 de enero de 2025. [En



- línea]. Disponible en: <https://blog.upsbatterycenter.com/thomas-edisons-nickel-iron-batteries/>
- [36] «(PDF) Wearable Biodevices Based on Two-Dimensional Materials: From Flexible Sensors to Smart Integrated Systems», *ResearchGate*, ene. 2025, doi: 10.1007/s40820-024-01597-w.
- [37] «Morales - Franklin Medardo Pillco Valladolid CI 0104545322.pdf». Accedido: 14 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30316/1/Trabajo-de-Titulaci%c3%b3n.pdf>
- [38] B. Scrosati y J. Garche, «Lithium batteries: Status, prospects and future», *J. Power Sources*, vol. 195, n.º 9, pp. 2419-2430, may 2010, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.11.048.
- [39] «Nishi - 2001 - Lithium ion secondary batteries; past 10 years and.pdf».
- [40] J. Vetter *et al.*, «Ageing mechanisms in lithium-ion batteries», *J. Power Sources*, vol. 147, n.º 1-2, pp. 269-281, sep. 2005, doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.01.006.
- [41] Y. Nishi, «Lithium ion secondary batteries; past 10 years and the future», *J. Power Sources*, vol. 100, n.º 1-2, pp. 101-106, nov. 2001, doi: 10.1016/S0378-7753(01)00887-4.
- [42] «[PDF] Books. Review Articles - Free Download PDF». Accedido: 12 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://silo.tips/download/books-review-articles>
- [43] *Handbook Of Batteries 3rd Edition*. Accedido: 8 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/handbookofbatteries3rdedition>
- [44] S. S. Zhang, «A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries», *J. Power Sources*, vol. 164, n.º 1, pp. 351-364, ene. 2007, doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.10.065.
- [45] «Lithium Battery Terminals». Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://rebling.com/products/lithium-battery-terminals?gad_source=5&gad_campaignid=21404553982&gclid=EAIaIQobChMIu6-IyMeRjgMVdMNIx3RAQj_EAEYASAAEgI5v_D_BwE



Anexos

Cronograma de actividades

Las actividades del presente trabajo de integración curricular se organizaron en un calendario que fue presentado mediante un diagrama de Gantt basado en las actividades en función de los objetivos específicos. Cada objetivo se dividió en tareas específicas y se pudo observar su evolución temporal y su impacto en la realización del estudio. También, se aplicó un porcentaje ponderativo a cada propósito de acuerdo con su importancia y carga metodológica dentro del proceso investigativo. A continuación, se presenta la estructura del diagrama de Gantt dividido en 3 periodos académicos.

➤ **Periodo 1: septiembre 2024 – febrero 2025**

En esta etapa se elaboró integralmente el Capítulo I, considerando el problema, pregunta de investigación, objetivos y justificación de la investigación. Estas acciones radicaron en que se establecieron los límites de la investigación y se determinó el campo conceptual a ser utilizado en el trabajo.

Asimismo, se comenzó con el Capítulo II a través de una ante visión teórica para descubrir bases conceptuales, antecedentes científicos y análisis fundamentales de baterías comerciales para vehículos eléctricos.

➤ **Periodo 2: marzo 2025 – agosto 2025**

Durante esta fase se terminó el Capítulo II, se ahondó en la revisión de literatura científica, evolución tecnológica de las baterías, clasificación para aplicación en vehículos eléctricos.

A continuación, se elaboró el capítulo III, que corresponde a la metodología de investigación, en la cual se estableció el enfoque bibliométrico, el diseño metodológico, las bases de datos científicas consultadas, los criterios de selección y los instrumentos de análisis.

También se hizo el primer tratamiento y análisis de resultados bibliométricos de principio del Capítulo IV, mayormente con herramientas tales como Microsoft Excel y VOSviewer.

➤ **Periodo 3: septiembre 2025 – febrero 2026**



En este periodo pasado, se culminó el Capítulo IV, el análisis e interpretación de resultados, detección de tecnologías emergentes y tendencias de investigación en el área de las baterías comerciales para vehículos eléctricos.

Por último, fueron redactados, revisados y cerrados en su totalidad el documento de la tesis. El proceso finalizará con la defensa privada en enero del 2026 y la pública en febrero del 2026, para ser así avalado de acuerdo con las exigencias académicas para el título.

A continuación, en la siguiente ilustración se detalla cada una de las actividades:



Objetivos específicos	Actividades	Sep-24	Oct-24	Nov-24	Dec-24	Jan-25	Feb-25	Mar-25	abr-25	May-25	Jun-25	Jul-25	Aug-25	Sep-25	Oct-25	Nov-25	Dec-25	Jan-26	Feb-26	Porcentaje ponderado (%)
1: Analizar la evolución tecnológica	1.1.Revisión cronológica de literatura científica sobre baterías comerciales	X	X	X	X	X	X													30%
	1.2.Organización de estudios en bloques temporales para identificar tendencias		X	X	X	X														
	1.3.Clasificación de mejoras tecnológicas en eficiencia, duración y carga			X	X	X														
	1.4Elaboración de gráficos y tablas de evolución tecnológica				X	X	X													
2: Describir tipos de baterías comerciales	2.1.Recolección de datos sobre tipos de baterías en bases científicas							X	X	X	X	X	X							40%
	2.2.Clasificación de mejoras tecnológicas en eficiencia, duración y carga								X	X	X	X								
	2.3.Identificación de propiedades técnicas y ciclo de vida									X	X	X	X							
	2.4.Análisis comparativo de tipos de baterías para vehículos eléctricos										X	X	X	X						
3: Identificar tecnologías emergentes	3.1.Exploración de información científica para detectar tecnologías emergentes													X	X	X	X			30%
	3.2.Análisis de tendencias mediante redes de citación y co-ocurrencia														X	X	X			
	3.3.Identificación de tecnologías de estado sólido, sodio-ion y metal-aire															X	X	X		

Ilustración 604: Cronograma de actividades



Recursos y presupuesto

Para llevar a cabo el trabajo de integración curricular se contó con la intervención de recursos humanos, materiales y financieros, los cuales se destinaron en su mayoría a la realización de este análisis bibliométrico, a la manipulación de la información científica y a la escritura del trabajo final. Como la investigación se basa en el estudio de la literatura científica y no implica realización de experimentos de laboratorio ni diseño de prototipos, la mayor parte de los recursos empleados son herramientas de software, disponibilidad para acceder a bases de datos académicas y materiales de apoyo para la demostración de resultados.

Como estudiante investigador fui el responsable de la obtención, depuración y análisis de la información mientras que el director y asesor académico aportaron apoyo en materia metodológica y técnica durante el curso del presente estudio. Estos recursos no tienen un costo económico directo, ya que son parte de las actividades académicas de la UTN.

En cuanto a los aspectos materiales y tecnológicos, se trabajó con computadoras personales, el software especializado Microsoft Excel y VOSviewer, y con bases de datos científicas institucionales, tales como: Scopus, Web of Science, SciELO e IEEE Xplore. Estos recursos fueron proporcionados por la institución o procedían de una licencia de código abierto, por lo que no se incurrieron en costes adicionales.

La mayoría de los gastos económicos directos se destinaron a papelería, impresión y encuadernación del documento final, así como al transporte local para llevar a cabo los procedimientos académicos. Al final, se tuvo en cuenta un concepto de emergencia equivalente al 10% del presupuesto total según recomendaciones metodológicas.

Tabla 35: Resumen de recursos y presupuesto por rubro

Nº	Rubros	Gastos (USD)	Porcentaje (%)
1	Equipos	0,00	0 %
2	Recursos bibliográficos y software	0,00	0 %
3	Materiales y suministros	20,00	66,67 %
4	Transferencia de resultados	0,00	0 %
5	Subcontratos y servicios	0,00	0 %
6	Transporte	10,00	33,33 %



7	Imprevistos (10 %)	3,00	—
	TOTAL	33,00	100 %

Tipo de financiamiento: El desarrollo del presente trabajo es una autoría única que fue posible llevar a cabo con recursos propios, no contó con financiamiento externo ni cofinanciamiento institucional, contando además con el apoyo logístico y académico de la Universidad Técnica del Norte para acceder a recursos bibliográficos y tecnológicos.