

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
MAESTRÍA EN GESTIÓN Y POLÍTICA DE LA INNOVACIÓN Y LA
TECNOLOGÍA



TÍTULO:

**Análisis comparativo de la producción científica peruana y mundial en el
campo de la ingeniería para el periodo 2002-2016.**

Tesis para optar el grado académico de Magíster en Gestión y Política de la
Innovación y la Tecnología

AUTOR:

Raúl Alejandro Sifuentes Arroyo

ASESOR:

José Isaac Yrigoyen Montestruque

Lima, setiembre de 2019

Tabla de contenido

INDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Breve reseña histórica de las publicaciones científicas peruanas.....	1
1.2 Caracterización de las publicaciones científicas peruanas en el área de ingeniería.....	2
1.3 Los estudios bibliométricos en el Perú.....	8
1.4 Preguntas de investigación	11
1.5 Objetivos del estudio	12
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	13
2.1 Proceso de detección de temas mediante el análisis de coocurrencia de palabras clave.....	15
2.2 Los diagramas estratégicos.....	20
2.3 La evolución de las estructuras temáticas	22
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1 Recolección de datos:	25
3.1.1 Recolección de datos para el caso peruano:	25
3.1.2 Recolección de datos para el caso mundial:	26
3.2 Selección de la unidad de análisis:	27
3.3 Limpieza de los datos:	27
3.3 Establecimiento de parámetros para la reducción de datos o extracción de la red bibliométrica:	28
4. RESULTADOS	34
4.1 Perú: análisis del periodo 2002-2016	34
4.2 Perú: análisis del mapa evolutivo: 2002-2016	52
4.3 Mundial: análisis del periodo 2002-2016	56
4.4 Mundial: análisis del mapa evolutivo 2002 - 2016	94
4.5 Comparación entre el caso peruano y el caso mundial en el campo científico de la ingeniería.....	98
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	106
7. RECOMENDACIONES	111
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

Dedicatoria

A Magaly, Alejandra, Elsa y Manuel, por la paciencia, la inspiración, y los valores inculcados.



Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Católica del Perú, por las facilidades brindadas para poder llevar esta maestría.

A Isaac Yrigoyen, mi asesor, quien se interesó mucho en el tema de esta tesis, repartiendo su tiempo de doctorado desde Alemania para guiar el avance del trabajo realizado, y también porque la idea sobre esta tesis empezó a gestarse en su curso de vigilancia tecnológica.



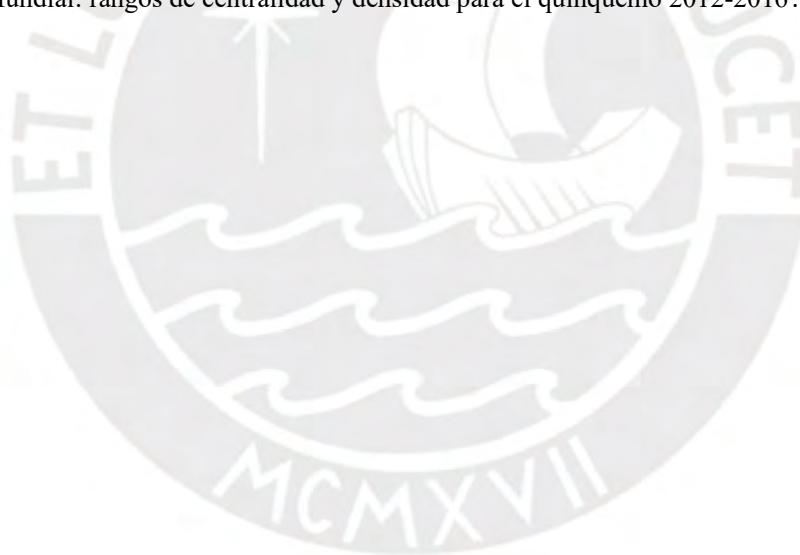
INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción científica peruana en ingeniería (1926-2018).....	2
Figura 2. Producción científica peruana en ingeniería (2002-2016).....	2
Figura 3. Las 10 instituciones peruanas que más investigan en ingeniería (2002-2016).	3
Figura 4. Producción científica peruana por área temática (2002-2016).	4
Figura 5: Red de coocurrencias de palabras claves.	16
Figura 6: Esquema de un diagrama estratégico.....	22
Figura 7: Ejemplos de evolución temática. Fuente: Cobo et al. (2011a)	23
Figura 8. Perú: Diagrama estratégico del quinquenio 2002-2006.....	35
Figura 9. Perú: tema PRESSURE-EFFECTS (2002-2006).....	37
Figura 10. Perú: tema MATHEMATICAL-MODELS (2002-2006)	38
Figura 11. Perú: tema ENVIRONMENTAL-IMPACT (2002-2006)	39
Figura 12. Perú: tema EARTHQUAKES (2002-2016).....	40
Figura 13. Perú: tema PRECIPITATION-(CHEMICAL) (2002-2006).....	41
Figura 14. Perú: tema COSTS (2002-2006).....	42
Figura 15. Perú: diagrama estratégico del quinquenio 2007-2011	43
Figura 16. Perú: tema CONTROL-SYSTEMS (2007-2011)	44
Figura 17. Perú: tema GEOLOGICAL-SURVEYS (2007-2011).....	45
Figura 18. Perú: tema ZINC-SULFIDE (2007-2011)	46
Figura 19. Perú: tema BIOMECHANICS (2007-2011).....	47
Figura 20. Perú: tema X-RAY-DIFFRACTIONS (2007-2011).....	47
Figura 21. Perú: diagrama estratégico del quinquenio 2012-2016.....	48
Figura 22. Perú: tema SHEAR-DEFORMATION (2012-2016).....	49
Figura 23. Perú: tema SEISMOLOGY (2012-2016).....	51
Figura 24. Perú: tema ALGORITHMS (2012-2016)	51
Figura 25. Perú: grados de similitud entre quinquenios.....	53
Figura 26. Perú: Mapa evolutivo del 2002 al 2016	53
Figura 27. Perú: evolución del tema MATHEMATICAL-MODELS.....	54
Figura 28. Perú: evolución del tema PRESSURE-EFFECTS	55
Figura 29. Perú: evolución del tema PRECIPITATION-(CHEMICAL)	55
Figura 30. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2002-2006.....	58
Figura 31. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2002-2006)	59
Figura 32. Mundial: tema GENES (2002-2006)	61
Figura 33. Mundial: tema CELL-CULTURE (2002-2006)	61
Figura 34: Mundial: tema PROTEINS (2002-2006).....	63
Figura 35: Mundial: tema UNCLASSIFIED-DRUG (2002-2006).....	64
Figura 36. Mundial: tema BIOMATERIAL (2002-2006).....	64
Figura 37. Mundial: tema SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS (2002-2006).....	66
Figura 38. Mundial: tema POWER-CONVERTERS (2002-2006).....	66
Figura 39. Mundial: tema ALGORITHMS (2002-2006).....	68
Figura 40. Mundial: tema ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS) (2002-2006)	68
Figura 41. Mundial: tema NETWORK-PROTOCOLOS (2002-2016).....	69
Figura 42. Mundial: tema LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED) (2002-2006).....	70

Figura 43. Mundial: tema TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY (2002-2006)	71
Figura 44. Mundial: tema ELECTROCHEMISTRY (2002-2006)	72
Figura 45. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2007-2011	74
Figura 46. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2007-2011)	75
Figura 47. Mundial: tema SOLAR-ENERGY (2007-2011)	76
Figura 48. Mundial: tema TUMOR-CELL-LINES (2007-2011)	77
Figura 49. Mundial: tema HUMAN-CELLS (2007-2011)	77
Figura 50. Mundial: tema ELECTRODES (2007-2011)	78
Figura 51. Mundial: tema GENES (2007-2011)	79
Figura 52. Mundial: tema LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES (2007-2011)	80
Figura 53. Mundial: tema ANIMAL-MODEL (2007-2011)	81
Figura 54. Mundial: tema COMPUTER-SIMULATION (2007-2011)	81
Figura 55. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2012-2016	84
Figura 56. Mundial: tema METABOLISM (2012-2016)	85
Figura 57. Mundial: tema ULTRASTRUCTURE (2012-2016)	86
Figura 58. Mundial: tema ELECTRIC-BATTERIES (2012-2016)	87
Figura 59. Mundial: tema TUMORS (2012-2016)	88
Figura 60. Mundial: tema CONTROLLED-STUDY (2012-2016)	88
Figura 61. Mundial: tema MOLYBDENUM-COMPOUNDS (2012-2016)	89
Figura 62. Mundial: tema PHOTOSENSITIZING-AGENT (2012-2016)	90
Figura 63. Mundial: Tema ELECTROLYTIC-REDUCTION (2012-2016)	90
Figura 64. Mundial: tema TITANIUM-DIOXIDE (2012-2016)	91
Figura 65. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2011-2016)	92
Figura 66. Mundial: tema GRAPHENE (2011-2016)	93
Figura 67. Mundial: Mapa evolutivo del periodo 2002-2016	95
Figura 68. Mundial: grados de similitud entre quinquenios	97
Figura 69. Comparación de temas similares: Perú vs Mundial (2002-2006)	101
Figura 70. Comparación de temas similares: Perú vs Mundial (2007-2011)	102
Figura 71. Comparativo de diagramas estratégicos: Perú vs Mundial	104
Figura 72. Comparación de mapas evolutivos: Perú vs Mundial	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de coocurrencias de palabras clave.....	16
Tabla 2. Matriz de ocurrencias de palabras clave	16
Tabla 3. Perú: frecuencia de ocurrencias de palabras clave (2002-2016)	30
Tabla 4. Mundial: frecuencia de ocurrencias de palabras clave (2002-2016)	30
Tabla 5. Mundial: frecuencias de coocurrencias de palabras clave (2002-2016).....	33
Tabla 6. Perú: frecuencias de coocurrencias de palabras clave (2002-2016).....	33
Tabla 7. Perú: Rangos de centralidad y densidad del quinquenio 2002-2006.....	35
Tabla 8. Perú: estructura interna de los temas detectados en el quinquenio 2002-2006	36
Tabla 9. Perú: Rangos de centralidad y densidad del quinquenio 2007-2011	43
Tabla 10. Perú: estructura interna de los temas detectados en el quinquenio 2007-2011	44
Tabla 11. Perú: Rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2012-2016.....	48
Tabla 12. Perú: estructura interna de los temas detectados (2012-2016)	49
Tabla 13. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2002-2006).....	57
Tabla 14. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2002-2006	58
Tabla 15. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2007-2011).....	73
Tabla 16. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2007-2011	74
Tabla 17. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2012-2016)	83
Tabla 18. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2012-2016	84



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se descubren los temas más destacados de la producción científica peruana y mundial en el campo de la ingeniería para el periodo 2002-2016. Se hizo uso del análisis de coocurrencia de palabras clave y de diagramas estratégicos aplicados a sub periodos de cinco años cada uno con la finalidad de describir y analizar su evolución y poder comparar ambas realidades. Los resultados obtenidos revelan que la ingeniería peruana y la ingeniería mundial tienen ejes temáticos distintos entre sí, que atienden problemas planteados por la realidad local o global, respectivamente. En el Perú, los temas más estratégicos están relacionados a las actividades mineras, petroleras y gasíferas en los primeros dos quinquenios, destacando los estudios geológicos y de impacto ambiental. De la misma manera, su ubicación geográfica, contribuye a que el estudio de los sismos sea igualmente estratégico. Se destaca también la ingeniería de materiales y el uso de algoritmos al servicio de otras especialidades de la ingeniería. A nivel mundial, los temas más destacados de la investigación pertenecen a la biotecnología y a la tecnología energética, ambos muy relacionados con la nanotecnología, el más estratégico según los resultados obtenidos. Resaltan los aportes relacionados al cáncer, la creación de biomateriales y fármacos, entre otros. Asimismo, se observa como prioritarios los estudios que buscan la mejora de la capacidad energética de las baterías usadas especialmente en dispositivos móviles y autos eléctricos.

Palabras clave: Ingeniería, Ciencimetría, Análisis de coocurrencia de palabras, Diagramas estratégicos, Estudios comparativos.

In the present research work, the most outstanding topics of Peruvian and World scientific production in the field of engineering for the period 2002-2016 are discovered. The analysis of co-occurrence of key words and strategic diagrams applied to sub periods of five years each, was used in order to describe and analyze their evolution and be able to compare both realities. The results reveal that Peruvian engineering and global engineering have different thematic axes, which address problems posed by local or global reality, respectively. In Peru, the most strategic themes are related to mining, oil and gas activities in the first two sub periods, where the geological surveys and environmental impact arises. In the same way, its geographical location contributes to earthquakes to become a strategic theme. The engineering of materials and the use of algorithms, at the service of other engineering branches, are of importance too. Worldwide, the most important research topics belong to biotechnology and energy technology, both of which are closely related to nanotechnology, the most strategic according to the results. The studies related to cancer, the creation of biomaterials and drugs, among others, are of importance. Likewise, studies searching to improve the energy capacity of batteries used especially in mobile devices and electric cars are given priority.

Keywords: Engineering, Scientometrics, Co-word analysis, Strategic diagrams, Comparative studies.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Breve reseña histórica de las publicaciones científicas peruanas

Las publicaciones científicas en el Perú datan desde finales del siglo XVIII. *El Mercurio Peruano*, publicado en 1790 por un grupo de intelectuales llamado *Sociedad Amantes del País*, es la primera publicación donde se tratan temas científicos, aunque solo en un 25%. Desde la época de la independencia, los temas médicos han liderado la producción científica peruana. Tenemos la publicación *Anales Medicales* como la primera revista médica del país, publicada por un médico francés en 1827. Sin embargo, en 1856 fue la *Gaceta Médica de Lima* la primera revista médica publicada por médicos peruanos. Actualmente, la revista médica más antigua, que sigue publicándose desde 1938, es la *Revista de Neuropsiquiatría* (Pamo Reyna, 2005).

Hoy en día, según el sistema de información de *Latindex*¹, el Perú tiene registrado en su directorio 515 títulos de revistas, de las cuales 502 están vigentes. Las instituciones que más publicaciones tienen son las universidades, públicas y privadas, los institutos de investigación y los organismos no gubernamentales, concentrándose la gran mayoría en la ciudad de Lima. Solo 15 títulos pertenecen al área de ingeniería (2.8%).

En *SciELO Perú*² solo existen 30 revistas indizadas. El 40% pertenece al área médica, ninguna del área de ingeniería.

En el *Directory of Open Access Journal (DOAJ)*³ se ha registrado 42 revistas peruanas, donde solo una ofrece artículos relacionados a la ingeniería industrial.

¹ Latindex: Revistas por país: <http://www.latindex.org/latindex/tablaPais?id=35&id2=0> consultado: el 15 de abril de 2018

² SciELO Perú: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_alphabetic&lng=es&nrm=iso consultado: el 16 de abril de 2018

³ DOAJ: <http://doaj.org> consultado: el 15 de junio de 2018

1.2 Caracterización de las publicaciones científicas peruanas en el área de ingeniería

La producción científica peruana en el área de ingeniería se publica mayormente en revistas y conferencias extranjeras, en colaboración con investigadores de otros países. A pesar que en los últimos años la producción ha tenido un notorio crecimiento, ésta aun es baja. Por ejemplo, en *Scopus* se registra 2156 documentos⁴ con filiación peruana en el área de ingeniería desde 1926 hasta lo que va del 2018 (fig. 1).



Figura 1. Producción científica peruana en ingeniería (1926-2018).

En el periodo 2002-2016, hay un crecimiento notable en el número de publicaciones. Desde el 2011 ya no se registran descensos, aumentando año a año el número de documentos (fig. 2).



Figura 2. Producción científica peruana en ingeniería (2002-2016).

⁴ Scopus: <http://www.scopus.com> consultado: el 30 de noviembre de 2018. Solo se ha considerado artículos de conferencias y artículos de revistas.

Las tres instituciones con mayor cantidad de investigaciones son universidades: la Pontificia Universidad Católica del Perú, la Universidad Nacional de Ingeniería, y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en ese orden, donde la primera supera en 2.5 veces el número de investigaciones a la segunda, y en poco más de 6 veces a la tercera según la información obtenida de *Scopus* (fig. 3). Asimismo, los investigadores peruanos trabajaron en colaboración con un total de 43 países, siendo aquellos con los que más se colaboró: Estados Unidos de Norteamérica, Brasil, España, Chile y Japón, llegando a representar el 61% del total de la colaboración científica internacional. En total, poco más del 76% de la producción científica peruana en el área de ingeniería se hace en colaboración científica local e internacional: 49% y 51% respectivamente en el periodo señalado.

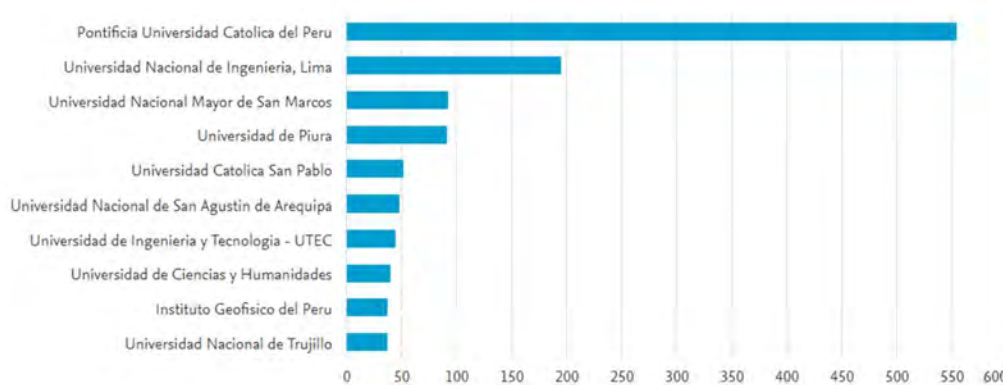


Figura 3. Las 10 instituciones peruanas que más investigan en ingeniería (2002-2016).

Los títulos de revistas peruanas indexados en esa base de datos son escasos, solo llegan a sumar 11 al día de hoy, ninguno es de ingeniería.

Según las áreas temáticas definidas por *Scopus*, la mayor producción científica peruana en el periodo 2002-2016 se concentra en el área de medicina (25.2%) seguida por el área de agricultura y ciencias biológicas (15.2%). Ingeniería representa el 4.6% del total de la producción científica peruana en el periodo indicado (fig. 4).

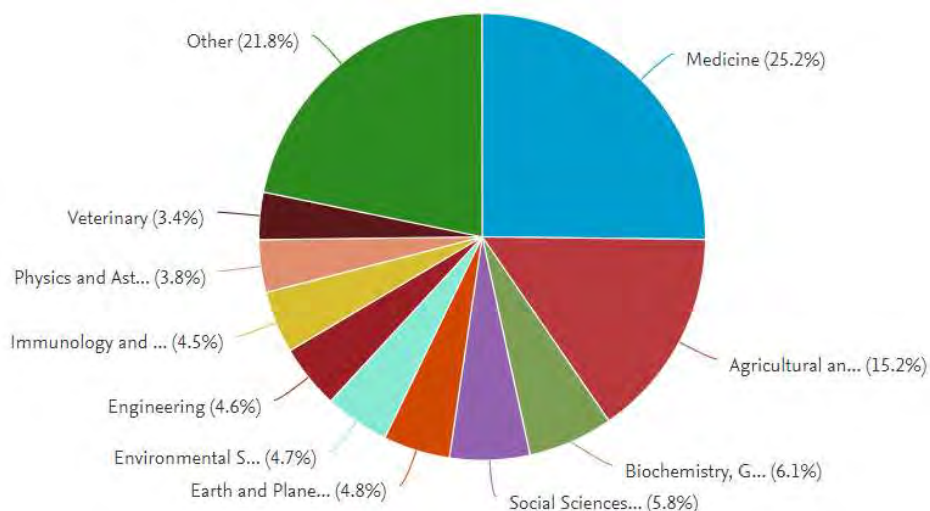


Figura 4. Producción científica peruana por área temática (2002-2016).

En la memoria de fin de gestión en el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (*CONCYTEC*), Marticorena (2007) señala que del año 2001 al 2005, gracias a un conjunto de decisiones de política científica y administrativa de un grupo de universidades, institutos públicos de investigación y del *CONCYTEC*, la producción científica peruana aumentó en un 71% en el número de artículos científicos publicados en revistas arbitradas (en el 2001 se publicaron 225 artículos científicos, mientras que en el 2005 se publicaron 385 artículos). Marticorena resalta que lo meritorio del caso es que esto se logró sin que en el Perú se haya invertido significativamente más en *I+D* durante el periodo arriba señalado, sino que se debió exclusivamente al conjunto de decisiones tomadas por esos organismos en materia de evaluación, políticas, planeamiento, gestión de recursos e intensificación de relaciones institucionales. Añade Marticorena que el *CONCYTEC* también contribuyó a este logro a través de concursos de subvenciones a investigaciones, innovaciones, estudios de postgrado y otros, sobre bases actualizadas, con evaluadores expertos, criterios objetivos de calificación y en el marco del *Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación*. Aunque el periodo de la mencionada memoria no coincide exactamente con el quinquenio 2002-2006, que es parte

de nuestro estudio, lo señalado por Marticorena explicaría también el crecimiento del número de documentos en el área de ingeniería, según datos de *Scopus*, en 63% el 2006 con relación al 2002.

Un informe publicado por encargo del *CONCYTEC* (Moya-Anegón et al., 2014) presenta el análisis de los principales indicadores bibliométricos de la producción científica peruana del periodo 2006-2011 según la base de datos *Scopus*, muestra, entre otros, los siguientes resultados que ayudarían a explicar el desempeño de la producción científica peruana durante el quinquenio 2007-2011 del presente estudio, para lo cual se hace un comentario donde hemos encontrado información relacionada para el caso de ingeniería:

- La contribución de Perú a la producción científica del mundo se quintuplicó, creciendo de un 0,01% en 1996 a un 0,05% en 2011.
- Perú se sitúa en el mundo en la posición 73 en producción científica y en la posición 8 en el contexto latinoamericano. En ingeniería nos encontramos en el puesto 87 a nivel mundial, y en el puesto 10 a nivel latinoamericano.
- Más del 75% de la producción peruana se desarrolla en colaboración internacional. En ingeniería esto solo representó el 38%.
- La producción científica peruana se comunica principalmente a través de revistas científicas editadas en Estados Unidos, Inglaterra y Holanda. Sucede lo mismo para ingeniería, aunque el orden es el siguiente: Estados Unidos, Holanda e Inglaterra.
- Estados Unidos es el principal socio científico de Perú, seguido a cierta distancia por Brasil. En ingeniería se invierte el orden, aunque por poco margen: Brasil es el principal socio científico seguido por Estados Unidos.

- La colaboración internacional representó 77% en 2003 y 72% en 2011. En el 2007 representó el 54% frente al 42% en 2011 para el caso de ingeniería. El informe señala que este es el rasgo característico de la producción científica peruana. Los investigadores nacionales son invitados a ser parte de la investigación financiada y liderada por instituciones extranjeras que se interesan por el ambiente natural y cultural peruano (farmacología y arqueología). La producción realizada sólo en colaboración nacional o en forma individual pasó de 23% en 2003 a 28% en 2011. La colaboración nacional en el área de ingeniería pasó del 36% el 2007 al 23% en el 2011 básicamente porque las investigaciones individuales llegaron a representar poco más del 34% el 2011 frente al 11% del 2007.
- Las categorías donde Perú cuenta con fortalezas relativas, alcanzando la excelencia en una proporción significativa en trabajos liderados por investigadores nacionales son: farmacología, toxicología y tarmacéutica, negocios, administración y contabilidad, e ingeniería química.

No se ha encontrado informes del *CONCYTEC* o estudios bibliométricos similares al arriba mencionado que cubra el quinquenio 2012-2016 para el caso peruano. Sin embargo, en ingeniería, las cifras que arroja nuestro análisis indican que hay un repunte en el número de investigaciones peruanas en este quinquenio, el cual representa el 60% del total producido desde el año 2002. La colaboración científica local e internacional llega a representar el 76%, muy similar al de los dos quinquenios anteriores delimitados por el presente estudio, llegando la colaboración internacional a 37%. A nivel mundial el Perú ocupa el puesto 85 (mejora dos puestos con relación al quinquenio anterior) y el puesto 9 a nivel latinoamericano (mejora 1 puesto con relación al quinquenio anterior) por el número de investigaciones.

Según el *I Censo Nacional de Investigación y Desarrollo a Centros de Investigación en el Perú* (CONCYTEC, 2017), la producción científica es escasa aun, así como también el desarrollo tecnológico, en comparación con los países de América Latina miembros de la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico* (OCDE), a la cual el Perú aspira a formar parte.

A continuación, algunos de principales resultados de este censo que ayudan a entender mejor el desempeño del área de ingeniería y otras áreas del conocimiento en el Perú hasta el 2016:

- En el 2015 el mayor gasto en *I+D* estaba representado por las áreas de *ciencias naturales* (32 %) e *ingeniería y tecnología* (23%) del gasto total en *I+D*.

- A nivel internacional, el Perú se encuentra rezagado en número de investigadores. Se estimó que por cada mil integrantes de la población económicamente activa hay solo 0.2 investigadores, porcentaje que se ubica por debajo del promedio de América Latina y el Caribe: 1.3, y muy lejos del promedio de los países de la OCDE: 12.7.

- Solo 27 por ciento de los investigadores se encontraba laborando en el área de *ingeniería y tecnología* en el 2015, cifra inferior respecto a otros países de la región. Por ejemplo, en Chile este porcentaje alcanza 35.1 por ciento y en países de la OCDE este porcentaje se ubica en 46 por ciento.

-El 23.4 por ciento de los proyectos de investigación iniciados en el 2015, corresponden a *ciencias sociales*, seguido por los de *ciencias naturales* (21.6 por ciento) e *ingeniería y tecnología* (21.3 por ciento).

- La relación del número total de artículos en revistas indexadas respecto al número total de investigadores se ubica en 0.6 en Perú. Esta ratio está muy por debajo de otros países de la *Alianza del Pacífico*, como Chile (1.7), Colombia (1.0) y México (0.8).

1.3 Los estudios bibliométricos en el Perú

Los estudios bibliométricos sobre la producción científica peruana son escasos y la gran mayoría analiza la producción en el área médica. Solo se han encontrado diez artículos de revistas donde se hace uso de análisis bibliométricos para el Perú:

En el 2003 se investigó la producción de las tesis y artículos en geriatría y gerontología en el Perú, desde 1980 al 2001, llegando a determinar las instituciones que mayor producción tuvieron en el tema. De toda la producción hallada, solo el 19.2% fue publicada. La mayor parte de los trabajos se hizo en tesis de posgrado (Varela Pinedo, Ortiz Saavedra, & Chavez Jimeno, 2003).

En el 2005 se hizo un trabajo descriptivo de las publicaciones médicas del Perú, encontrando una serie de deficiencias por parte de los autores y los editores. Se obtiene una lista de todas las revistas peruanas del área en la base de datos LILACS y hace un comparativo de su producción con los demás países de la región que se encuentran indizados en la mencionada base de datos (Pamo Reyna, 2005).

En otro trabajo se describe y analizan el volumen de la producción científica de los estudiantes de pregrado de medicina humana del Perú para el periodo 1993-2003 mediante la revisión de resúmenes de los trabajos de investigación presentados a los Congresos Científicos Nacionales de la Sociedad Científica Peruana de Estudiantes de Medicina, llegando a determinar la filiación, el índice de colaboración y los tipos de investigaciones (Galán et al., 2005).

En el 2009 se realizó un estudio para determinar las características de la producción científica en el área de biomedicina en el departamento de Ica, Perú. Se hizo

uso de las bases de datos *Medline*, *SciELO*, *LILACS*, *LIPECS*, *Google Scholar* y la base de datos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Fueron analizados 37 artículos de revistas publicados entre 1998 y 2007, un número muy bajo de artículos para hacer uso de índices bibliométricos (Arroyo Hernández, Zukerán Medina, y Miranda Soberón, 2009).

Huamaní y Pacheco (2009) realizaron una investigación para determinar la visibilidad y producción de las revistas biomédicas peruanas. Es decir, se analizó la producción en el área mencionada durante el periodo 2005-2007 y su visibilidad durante el año 2008.

Huamaní y Mayta (2010) estudiaron la producción científica peruana en el área médica peruana e indizada en la base de datos *ISI Web of Science* desde el 2000 al 2009 para conocer las características de las redes de colaboración institucional. Se llegó a establecer que los países que más colaboran con el Perú en esta área son Estados Unidos de Norteamérica (60.4%), Inglaterra (12.9%) y Brasil (8.0%).

En los siguientes artículos se llevaron a cabo estudios bibliométricos más completos, llegándose a estudiar temas más específicos dentro del área médica:

El 2011 se hizo un análisis bibliométrico de la producción científica sobre VIH/SIDA en el Perú para el periodo 1985-2010. Se tomaron en cuenta solo los artículos indizados en *Medline*, *SciELO* y *LILACS* y se llegó a determinar el tiempo de demora en publicarse los artículos sobre estudios ya concluidos, áreas más estudiadas, tipos de estudios, y lugares del Perú donde se llevaron a cabo estos estudios, siendo Lima el departamento donde más estudios se realizaron (Caballero et al., 2011).

Taype, Lajo y Huamaní (2012) analizaron la producción científica peruana sobre trastornos mentales indizada en *SciELO Perú* durante el periodo 2006-2011 en revistas

de medicina y psicología. Las áreas con mayor frecuencia estudiadas fueron depresión, abuso de sustancias y trastornos de sueño.

Mayta et al. (2013) realizaron un estudio bibliométrico de las publicaciones en revistas peruanas sobre cáncer para el periodo 2000-2011 indizadas en *Scopus* y *Science Citation Index*. Se llegó a determinar que los cánceres más estudiados fueron el de cuello uterino, de mamas y de estómago.

Fuera del área médica, solo se encontró un estudio bibliométrico aplicado a una revista de psicología, la Revista de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para el periodo 1983-1992. Se determinaron las características de las referencias bibliográficas de sus artículos durante el periodo mencionado: número de referencias por autor, actualidad, idioma, referencias a otros artículos peruanos, y autores peruanos más referidos (Vargas López, 1996).

En lo poco que se ha podido encontrar en la literatura científica con respecto a estudios bibliométricos en el Perú, en *Scopus* y *Web of Science*, la gran mayoría analiza temas relacionados a la medicina. El presente estudio va a permitir conocer en qué temas han estado involucrándose los investigadores peruanos en el área de ingeniería según la clasificación de la base de datos *Scopus*, además de la evolución de estos a lo largo de tres quinquenios consecutivos, de cinco años cada uno, para el periodo 2002-2016. No se ha encontrado estudios para el caso peruano donde se haya hecho uso de análisis de coocurrencia de palabras clave y diagramas estratégicos. Para el presente estudio se ha preferido utilizar los datos que proporciona la base de datos *Scopus* sobre los de *Web of Science* porque tiene mayor número de documentos clasificados bajo la categoría de ingeniería para el caso peruano en el periodo propuesto.

En resumen, el contexto peruano de ciencia, tecnología e innovación se caracteriza por tener escasos recursos humanos y financieros. De ahí que la producción científica

peruana sea baja en comparación con los demás países de la región. En el campo de la ingeniería la producción es más baja aun, según las dos principales fuentes bibliográficas de la producción científica mundial. Entre los escasos estudios bibliométricos sobre la producción científica peruana indizados en *Scopus* y *Web of Science*, la gran mayoría centra su análisis en la medicina, ninguno en la ingeniería. Faltan estudios bibliométricos que analicen otras áreas del conocimiento y ayuden a orientar o a evaluar los resultados de las políticas científicas existentes.

1.4 Preguntas de investigación

La pregunta básica de investigación es: ¿Cuál ha sido la evolución temática de la producción científica en el área de ingeniería en el Perú en comparación con la tendencia mundial entre el 2002-2016? Sobre los resultados que darán respuesta a esta pregunta, se buscará saber, además, lo siguiente:

- ¿Cuál ha sido el desarrollo e importancia de los temas producidos en el campo de la ingeniería en el Perú, en los quinquenios 2002-2006, 2007-2011, 2012-2016?
- ¿Qué cambios ha habido en las temáticas de investigación en ingeniería en el Perú desde el 2002 hasta el 2016?
- ¿Cuál ha sido el desarrollo e importancia de los temas producidos en el campo de la ingeniería en el mundo, en los quinquenios 2002-2006, 2007-2011, 2012-2016?
- ¿Qué cambios ha habido en las temáticas de investigación en ingeniería en el mundo entre el 2002 y el 2016?
- ¿Qué similitudes y diferencias existieron entre la producción científica peruana y mundial en el área de ingeniería entre el 2002 y el 2016

1.5 Objetivos del estudio

El objetivo principal es descubrir los temas específicos más destacados de la producción científica peruana y mundial del periodo 2002-2016 en el campo de la ingeniería, según la clasificación de la base de datos *Scopus*, mediante el análisis de coocurrencia de palabras clave y diagramas estratégicos, aplicados a tres quinquenios consecutivos para observar su evolución y poder compararlos con la producción científica mundial.

Entre los objetivos específicos tenemos los siguientes:

- Analizar y visualizar los temas detectados en el campo de la ingeniería peruana para los quinquenios 2002-2006, 2007-2011, 2012-2016 a fin de establecer su importancia y desarrollo en estos quinquenios.
- Describir y analizar la evolución de los temas detectados en el campo de la ingeniería peruana durante el periodo 2002-2016.
- Analizar y visualizar los temas detectados en el campo de la ingeniería mundial para los quinquenios 2002-2006, 2007-2011, 2012-2016 a fin de establecer su importancia y desarrollo en estos quinquenios.
- Describir y analizar la evolución de los temas detectados en el campo de la ingeniería mundial durante el periodo 2002-2016.
- Encontrar similitudes y diferencias entre los resultados hallados para el caso peruano frente a los obtenidos para el caso mundial en el campo de la ingeniería.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente estudio se basa en la propuesta metodológica de Cobo et al. (2011a), la cual usa el análisis de palabras clave o términos dentro de un marco longitudinal a fin de detectar y rastrear la evolución de un área de investigación a lo largo de quinquenios consecutivos y la complementa con el uso de indicadores bibliométricos para medir aspectos cualitativos y cuantitativos de las publicaciones científicas. Se ha escogido esta propuesta porque reúne y sistematiza técnicas como el análisis de coocurrencia de palabras clave y la aplicación de medidas de similitud ya aplicados en otros estudios (Chang & Wang, 2015; Coulter, Monarch, & Konda, 1998; C.-P. Hu, Hu, Deng, & Liu, 2013; Lee & Jeong, 2008; Milojević, Sugimoto, Yan, & Ding, 2011; Pino-Díaz, Jiménez-Contreras, Ruíz-Baños, & Bailón-Moreno, 2012), así como también en los diagramas estratégicos (An & Wu, 2011; Cobo, López-Herrera, Herrera, & Herrera-Viedma, 2012; de la Rosa Troyano, Martínez Gasca, González Abril, & Velasco Morente, 2005; Dehdarirad, Villarroya, & Barrios, 2014; Gao & Yu, 2014; Han, Gui, & Xu, 2014; Lee & Jeong, 2008; López-Herrera, Cobo, Herrera-Viedma, & Herrera, 2010; Viedma-Del-Jesus, Perakakis, Muñoz, López-Herrera, & Vila, 2011). También porque se facilita su aplicación a través de un software que permite seguir y cumplir con todas las fases que en ella se propone, además de facilitar la visualización de la evolución de áreas que se sometan a análisis, sin recurrir a otras herramientas informáticas. La metodología y el software se han aplicado en estudios sobre diversos temas específicos, en su mayoría estudios longitudinales como comportamiento del consumidor (Muñoz-Leiva, Viedma del Jesús, Sánchez-Fernández, & López-Herrera, 2011), los sistemas de transporte inteligente (M. J. Cobo, Chiclana, Collop, De Oña, & Herrera-Viedma, 2014; M. J. Cobo et al., 2012), investigación en marketing financiero (Muñoz-Leiva, Sánchez-Fernández, Liébana-Cabanillas, & Martínez-Fiestas, 2013), todo el contenido de la revista

Knowledge-Based Systems (Cobo, Martínez, Gutiérrez-Salcedo, Fujita, & Herrera-Viedma, 2015), líneas de productos de software (Heradio, Pérez-Morago, Fernández-Amoros, Javier Cabrerizo, & Herrera-Viedma, 2016), la ciencia de los animales (Rodríguez-Ledesma, Cobo, López-Pujalte, & Herrera-Viedma, 2015), investigación cualitativa de mercados (Murgado-Armenteros, Gutiérrez-Salcedo, Torres-Ruiz, & Cobo, 2015), trabajo social (Ma Angeles Martínez, Cobo, Herrera, & Herrera-Viedma, 2015), computación móvil, comercio móvil y aplicaciones móviles (Chang & Wang, 2015), desarrollo sostenible de nuevos productos (Thomé, Scavarda, Ceryno, & Remmen, 2016), gestión de recursos humanos (Trotta & Garengo, 2017), experiencias adversas en la infancia (Vega-Arce & Núñez-Ulloa, 2018) y parques tecnológicos (Mora-Valentín, Ortiz-de-Urbina-Criado, & Nájera-Sánchez, 2018).

Las fases que propone la metodología son las siguientes:

1. Detectar los temas en un área científica a través del análisis de coocurrencia de términos o palabras clave para cada uno de los quinquenios establecidos.
2. Plasmar en un espacio de cortas dimensiones los resultados de la primera fase (estructuras temáticas).
3. Analizar la evolución de los temas detectados a lo largo de los quinquenios establecidos de manera tal que se puedan detectar las principales áreas temáticas del campo científico, sus orígenes y sus interrelaciones.
4. Medir el rendimiento de los quinquenios, temas y áreas temáticas a través de mediciones cuantitativas y de impacto, en este caso, por el número de citas.

2.1 Proceso de detección de temas mediante el análisis de coocurrencia de palabras clave

Cobo et al. (2011a) señalan que el proceso de detección de temas tiene como resultado un grupo de palabras clave y sus interconexiones; estos grupos o *clusters* son considerados temas. De la Rosa Troyano (2005), bajo el enfoque de redes sociales, señala que el objetivo del análisis de coocurrencia de palabras clave es la creación de mapas temáticos para detectar focos o centros de interés, así como las relaciones que existen entre ellos. A partir de este análisis se obtienen dos productos: los mapas (estructuras temáticas) y los súper mapas (diagramas estratégicos). Al tener un conjunto de documentos se puede construir una red donde los nodos son las palabras clave asignadas a los documentos que describen su contenido temático, y la fuerza de las relaciones entre cada par de palabras (coocurrencia) se mide por el índice de equivalencia o coeficiente de inclusión mutua dado por: $e_{ij} = c_{ij}^2 / c_i c_j$, donde c_{ij} es el número de documentos en los cuales dos palabras clave i y j coocurren, y c_i y c_j representan el número de documentos en los cuales cada uno aparece (Cobo et al., 2011a). Cuando las palabras clave siempre aparecen juntas en un documento, el índice de equivalencia es igual a 1; cuando nunca se asocian, es igual a 0. En los gráficos esto se representa mediante una línea que une dos nodos: mientras más fuerte es la relación entre dos palabras, más gruesa es la línea que las une.

En la figura 5 se puede ver un ejemplo de red de coocurrencia de palabras clave de tres documentos. Esta se puede modelar según la teoría de redes sociales y obtener una matriz de coocurrencias para determinar con mayor facilidad qué palabra tiene la mayor coocurrencia, en este caso está entre la palabra 2 y la palabra 3, y se presenta en dos documentos. (Tabla 1)

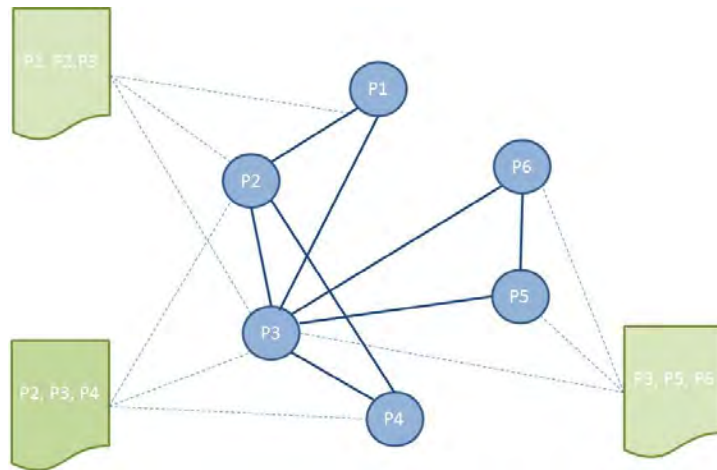


Figura 5: Red de coocurrencias de palabras claves.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	-	1	1	-	-	-
P2	1	-	1	1	-	-
P3	1	2	-	1	1	1
P4	-	1	1	-	-	-
P5	-	-	1	-	-	-
P6	-	-	1	-	1	-

Tabla 1. Matriz de coocurrencias de palabras clave

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Doc 1	1	1	1	0	0	0
Doc 2	0	1	1	1	0	0
Doc 3	0	0	1	0	1	1
	1	2	3	1	1	1

Tabla 2. Matriz de ocurrencias de palabras clave⁵

Del mismo modo se puede crear una matriz de ocurrencia de las palabras clave de los tres documentos a fin de determinar la mayor ocurrencia. En la tabla 2 se aprecia que la palabra 3 ocurre tres veces, una en cada documento.

⁵ Una palabra podría tener más de una coocurrencia dentro de un mismo documento. Por ejemplo, la palabra 3 (P3) ocurre en 3 documentos y coocurre 5 veces en esos 3 documentos. En alguno de ellos coocurre más de 1 vez.

De esta manera se puede ver que la técnica de análisis vista no solo se aplica a redes sociales sino que también se puede aplicar a cualquier sistema que pueda ser modelado como una red (de la Rosa Troyano et al., 2005). Los nodos de esta red representan entidades, y en este caso son los términos o palabras clave, y están unidas por aristas que representan el tipo de relación que éstas tienen: la coocurrencia.

El proceso de detección de temas contiene cinco pasos de acuerdo a Cobo et al. (2011a):

- 1) Recopilación de datos: se debe establecer la fuente que proporcionará los datos a ser analizados, así como la estrategia de búsqueda que permita recuperar de manera precisa los datos que cumplan con los requisitos planteados para el análisis. Aquí mismo se debe establecer el rango en años del periodo y sub periodos para poder analizar la evolución de los temas del campo científico objeto de estudio.
- 2) Selección de la unidad de análisis: entre las unidades de análisis más comunes tenemos revistas, artículos científicos, autores y palabras clave. En este caso usaremos las palabras clave, tanto aquellas proporcionadas por los autores como aquellas que asigna la base de datos donde están indizados los documentos objeto de estudio.
- 3) Extracción de la red bibliométrica: consiste en establecer las frecuencias de coocurrencia de las palabras clave del mismo conjunto de documentos objeto de estudio, mediante el conteo de documentos en los cuales dos palabras clave aparecen juntas, es decir, el mínimo número de documentos donde se requiere que aparezcan las palabras clave. A este proceso se llama reducción de datos y la idea es seleccionar aquellos más relevantes de acuerdo a su frecuencia. Coulter et al. (1998) indican que escoger una frecuencia mínima es un tanto arbitrario y podría

establecerse ratios relacionados al número de documentos o al número de palabras que tengamos a disposición.

- 4) Cálculo de las relaciones de similitud entre los elementos de la red bibliométrica: esto se basa en la frecuencia de coocurrencias de palabras clave. De acuerdo a Callon, Courtial y Laville (1991) la medida de normalización de la frecuencia de coocurrencias más apropiada es el índice de equivalencia, el cual ha sido explicado líneas arriba.
- 5) Aplicación de un algoritmo de agrupamiento o *clustering* para detectar temas: se trata de detectar sub grupos de palabras clave que estén fuertemente relacionados los unos con los otros y que corresponden a centros de interés o a problemas de investigación que son objeto de dedicación significativa por parte de los investigadores. En esta metodología se sugiere el *algoritmo de centros simples*, ya que ha sido usado en numerosos estudios sobre coocurrencia de palabras clave. Como bien explica Cobo (2011), este algoritmo realiza su trabajo en dos etapas: durante la primera se forman las redes que tienen las asociaciones más fuertes. Los enlaces que se agregan en esta etapa se denominan enlaces internos. Durante la segunda etapa se añaden a las redes formadas anteriormente enlaces que representan asociaciones entre ellas y se denominan enlaces externos.

El pseudo código de este algoritmo tiene los siguientes pasos (Coulter et al., 1998):

1. Seleccionar un umbral mínimo para la coocurrencia, c_{ij} , para las palabras clave i y j , seleccionar un máximo valor para el número de enlaces de la etapa 1, y seleccionar un máximo valor para el total de enlaces de la etapa 1 y la etapa 2;
2. Iniciar la etapa 1;

3. Generar el máximo índice de equivalencia e_{ij} de todas las palabras clave posibles para empezar una red en la etapa 1;
4. De ese enlace, formar otros enlaces de una manera amplia hasta que no sea posible formar otros enlaces debido al valor mínimo de coocurrencia, al valor máximo de enlaces en la etapa 1, o al número máximo de nodos. Eliminar todas las palabras clave incorporadas de la siguiente lista de palabras clave disponibles para etapa 1;
5. Repetir los pasos 3 y 4 hasta que todas las redes de la etapa 1 se formen, es decir, hasta que no quede un par de un par de palabras clave con suficiente frecuencia de equivalencia para formar otra red;
6. Iniciar la etapa 2;
7. Reincorporar todas las palabras clave de la etapa 1 a la lista de palabras clave disponibles;
8. Iniciar con la primera red detectada de la etapa 1;
9. Generar todos los enlaces a los nodos de la red actual de la etapa 1 a cualquier nodo de otra red que tiene al menos el mínimo valor de coocurrencia, en orden descendente del valor e_{ij} , detenerse cuando no queden parejas de palabras clave con un valor de coocurrencia mayor al mínimo, o cuando el total de enlaces máximos se haya cumplido. No eliminar ninguna palabra clave de la lista de palabras clave disponibles;
10. Seleccionar la siguiente red de la etapa 1 y repetir el paso 9.

Es importante resaltar lo comentado por Coulter et al. (1998), en cuanto a que dos palabras clave que aparecen con poca frecuencia en el grupo de documentos a analizar, pero que siempre aparecen juntas, tendrán una mayor fuerza en su relación que aquellas que aparecen con mayor frecuencia y que aparecen junto a otras palabras clave, pudiendo

causar que asociaciones débiles o irrelevantes dominen la red. El algoritmo de los centros simples soluciona este problema mediante el uso de diferentes parámetros: los umbrales mínimos de frecuencia y de coocurrencia, solo las palabras clave que superen estos umbrales serán consideradas enlaces potenciales durante la construcción de las redes en la etapa 1 del algoritmo. Asimismo, el algoritmo tiene dos parámetros para poner límites mínimos y máximos al tamaño de las estructuras temáticas detectadas para evitar, por ejemplo, obtener redes con pocos o muchos nodos que dificulten la interpretación de los resultados.

2.2 Los diagramas estratégicos

En estos estudios los análisis se llevan a cabo en dos fases principalmente: 1. detección de los temas investigados a través de matrices de frecuencia de coocurrencias de dos palabras clave. 2. construcción de diagramas estratégicos: en el proceso de agrupamiento (*clustering*) se obtiene un juego de redes o temas interconectados. Para poder representar las redes detectadas son necesarias dos medidas, según Callon et al. (1991):

- I. La centralidad: mide el grado de interacción de una red con respecto a otra red y puede definirse como: $c = 10 * \sum e_{kh}$, siendo k una palabra clave que pertenece al tema y h la palabra clave que pertenece a otros temas. La centralidad mide la fuerza de los enlaces externos a otros temas. Se debe entender este valor como el grado de conexión de un tema o estructura temática.
- II. La densidad: mide el grado de fuerza interna de una red y puede definirse de la siguiente manera: $d = 100 (\sum e_{ij}/w)$ donde las palabras clave i y j pertenecen al tema y w es el número de palabras clave en el tema. La densidad mide la fuerza de los enlaces internos entre todas las palabras clave que describen al tema. Este

valor se debe interpretar como la medida de desarrollo de un tema o estructura temática.

De la Rosa et al. (2005) indican que un tema (red) es más crucial para el campo de investigación analizado en cuanto su grado de centralidad sea mayor. Por otro lado, un tema tendrá más capacidad de desarrollarse y permanecer en el tiempo en cuanto su grado de densidad sea mayor.

Las medidas de centralidad y densidad nos permiten representar de una manera simple a todo el conjunto de redes en un diagrama, a la vez que permiten realizar un análisis de la dinámica de aquellas detectadas como resultado de la aplicación del algoritmo. Dado que cada red está definida por su centralidad y densidad, se puede construir un diagrama estratégico ordenando las redes horizontalmente (eje X) según el rango centralidad, y verticalmente (eje Y) según el rango de densidad. De esta manera todas las redes detectadas quedan clasificadas en cuatro categorías que vienen a ser los cuadrantes del diagrama resultante. El orden de estos puede variar según el software que se utiliza para elaborarlos. La figura 6 muestra el orden que genera el software usado en el presente estudio: SciMAT.

A continuación, la descripción de los cuadrantes del diagrama estratégico:

Cuadrante 1: Contiene a los temas que componen el núcleo principal. Tienen altos grados de desarrollo (densidad) y de conexión (centralidad) y, por lo mismo, la mejor posición estratégica dentro de toda la red. Los temas allí ubicados son considerados los motores del sub periodo analizado.

Cuadrante 2: Contiene temas con alto grado de desarrollo, pero poco conectados. Es probable que hayan pertenecido al cuadrante 1 y se haya perdido interés en ellos. Se les considera temas aislados.

Cuadrante 3: Contiene temas con bajos grados de desarrollo y de conexión, no están bien desarrollados ni bien conectados, representan temas o emergentes o en desaparición. Es probable que en el futuro formen parte del cuadrante 4.

Cuadrante 4: Contiene temas con bajo grado de desarrollo, pero un alto grado de conexión. Se les considera temas básicos y transversales en toda la red. Son candidatos a convertirse en temas motores del periodo analizado.



Figura 6: Esquema de un diagrama estratégico.

Para el análisis de los datos en este tipo de estudios es necesario hacer uso de software *ad-hoc* y con capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos, que hayan sido probados y usados con éxito en estudios similares. El documento preparado por Sangam y Shivaranjini (2012) puede ser un buen punto de partida para saber con qué herramientas cuenta el investigador. Sin embargo, el documento más completo sobre software para mapeo y visualización de la ciencia es el de Cobo et al. (2011b), donde hacen una revisión, análisis y comparación de varias herramientas de software.

2.3 La evolución de las estructuras temáticas

Al dividir un periodo en sub periodos consecutivos, es posible hacer un análisis de la evolución de las estructuras temáticas sujetas a estudio con esta metodología. Según

Cobo et al. (2011a), se puede decir que un tema A ha evolucionado a un tema B cuando ambos comparten al menos una palabra clave. Estas palabras clave en común se consideran el nexa temático o nexa conceptual de la evolución. La relación, expresada en líneas sólidas, solo se da cuando ambas estructuras comparten la misma etiqueta (palabra clave que da nombre al tema) o cuando la etiqueta es parte de otra estructura temática. A mayor grosor de la línea, mayor es el índice de similitud, el cual es igual a 1. La línea discontinua significa que hay al menos una palabra clave en común y que no es el que da nombre a la etiqueta de la estructura temática. El gráfico resultante es un mapa evolutivo que se complementa con un mapa más general (fig. 7) que mide el traslape de palabras clave en quinquenios consecutivos y se mide con un índice de estabilidad, que en este caso es similar al índice *Jaccard*, usado para expresar el grado de intersección entre dos juegos conjuntos de documentos, definido de la siguiente manera: $J_{ij} = (C_{ij}) / (C_i + C_j - C_{ij})$ (He, 1999), donde ij son los periodos, y donde ij son distintos, C_j son las palabras clave comunes a ambos periodos, y C_i y C_j son el número de palabras clave que corresponden al periodo i o j de manera independiente, C_{ij} es el número de palabras comunes al periodo i y j .

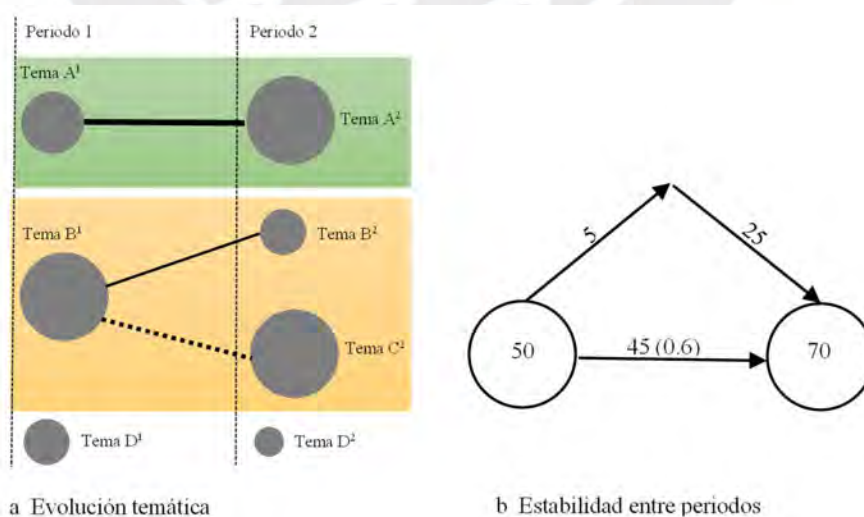


Figura 7: Ejemplos de evolución temática. Fuente: Cobo et al. (2011a)

3. METODOLOGÍA

Si bien es cierto que la metodología usada en el presente estudio se ha aplicado en varias investigaciones desde hace ya varios años, es la primera vez que se aplica de manera tan amplia y general como en este estudio, donde incluso analizamos los estudios de ingeniería a nivel mundial. En la bibliografía revisada, para ver experiencias de uso de la metodología, o parte de ella, se ha encontrado que los objetos de estudio se reducen a temas muy específicos como líneas de transporte inteligente o computación móvil, por ejemplo.

El objetivo de descubrir los temas más notables de ambos ámbitos, observar su evolución y compararlos se hizo más complejo por el alcance del estudio, ya que los resultados obtenidos necesitaron de un análisis más profundo como la revisión de los contenidos de varios artículos vinculados a las palabras claves de cada estructura temática. Contextualizar las palabras clave hace más fácil comprender sus relaciones con otras palabras claves, tanto internas como externas. Si bien el algoritmo de centros múltiples nombra a la estructura temática con la palabra clave de más centralidad, esta no es necesariamente la de mayor densidad o frecuencia. Por esta razón algunas estructuras temáticas tienen por nombre palabras clave que representan conceptos muy específicos o especializados, lo cual nos lleva a realizar un análisis de todos los elementos de la red interna para determinar su pertenencia a un área más general o poder relacionarla a otra y establecer su naturaleza o procedencia. A pesar que la auto asignación del nombre de las estructuras temáticas resultantes es de bastante ayuda, se sugiere analizar con más detalle la estructura interna de los temas detectados y contextualizarlos a fin de comprenderlos mejor. De estos casos tuvimos muchos, especialmente en los resultados a nivel mundial, donde, un gran porcentaje de las estructuras temáticas detectadas tienen relación con la nanotecnología. Este hecho hizo que consultemos bibliografía

especializada en el tema para familiarizarnos mejor con esa disciplina a fin de comprender mejor los conceptos y poder hacer una mejor interpretación de los resultados.

3.1 Recolección de datos:

Aquí se debe establecer la fuente que proporcionará los datos a ser analizados, así como la estrategia de búsqueda que permita recuperar de manera precisa los datos que cumplan con los requisitos planteados para el análisis. Aquí mismo se debe establecer el rango en años del periodo y sub periodos para poder analizar la evolución de los temas del campo científico objeto de estudio. Tanto para el caso peruano como para el caso mundial se ha considerado el mismo periodo de estudio: 2002-2016.

3.1.1 Recolección de datos para el caso peruano:

Se ha realizado una búsqueda en la base de datos *Scopus* con los siguientes criterios:

- País de filiación del autor: Perú
- Área temática: Ingeniería
- Rango de años de publicación: 2002-2016
- Tipo de documentos: artículos de revistas y artículos de conferencias. Se consideraron ambos tipos de documentos para obtener una mayor cantidad de elementos a analizar.

En total se recuperaron 1078 documentos y se agruparon en sub periodos de cinco años cada uno para poder analizar la evolución de las estructuras temáticas detectadas: 2002-2006, 2007-2011 y 2012-2016. En la literatura consultada, donde se ha aplicado la metodología utilizada en el presente trabajo, no se dice de manera explícita que los periodos analizados deban ser divididos en sub periodos de determinados números de años. Se observa que estos se hacen en función de la cantidad de datos que cada sub periodo pueda reunir para poder compararse entre ellos y observar su evolución. En la

mayoría de estudios los sub periodos constan de igual números de años, cuatro o cinco por lo general. En algunos, el primer sub periodo consta del mayor número de años para poder formar un grupo de datos más consistente en número, ya que, en los estudios longitudinales, los primeros años, por lo general, contienen un menor número de documentos.

3.1.2 Recolección de datos para el caso mundial:

La cantidad de documentos del área de ingeniería en *Scopus* supera los seis millones ochocientos mil documentos hoy en día. Son muchos documentos para analizar y depurar, por lo que se optó hacer una selección basada en el prestigio de las revistas a nivel mundial y se recurrió al *Scimago Journal Rank* para consultar su ranking de revistas en el área de ingeniería, ya que se basa en datos provenientes de *Scopus*. Debido a que brinda información desde 1999, los sub periodos de cinco años completos se pudieron obtener para el periodo 2002-2016. Se ha escogido las cinco revistas con más alto indicador *SJR*, para cada una de las categorías que conforman el área de ingeniería, según la propia categorización de *Scimago Journal Rank*:

- *Aerospace engineering*
- *Architecture*
- *Automotive Engineering*
- *Biomedical Engineering*
- *Building and Construction*
- *Civil and Structural Engineering*
- *Computational Mechanics*
- *Control and Systems Engineering*
- *Electrical and Electronic Engineering*
- *Engineering (miscellaneous)*

- *Industrial and Manufacturing Engineering*
- *Mechanical Engineering*
- *Media Technology*
- *Ocean Engineering*
- *Safety, Risk, Reliability and Quality*

Se obtuvo los ISSN de cada uno de los títulos de revistas encontrados en cada categoría, para cada año, dentro del rango del periodo establecido, a fin de usarlos en las consultas hechas a *Scopus*. Es decir, para cada categoría se realizó quince consultas, llegando a realizar un total de doscientas veinticinco consultas a esa base de datos. El número de resultados obtenido fue muy grande aún, por lo que se optó por seleccionar el 50% de artículos con mayor número de citas bibliográficas para cada año y cada categoría, llegando a recuperar 15606 documentos, específicamente artículos de revistas. Este criterio de selección basado en el número de citas se ha usado en otros tipos de estudios como el de Dolnicar (2014) y el de Linnemer y Visser (2017) para determinar liderazgo e influencia en los documentos de investigación.

Con fines comparativos, la agrupación por quinquenios será como se hizo en el caso peruano: 2002-2006, 2007-2011 y 2012-2016.

3.2 Selección de la unidad de análisis:

Entre las unidades de análisis más comunes tenemos títulos de revistas, documentos científicos, autores y palabras clave. En este caso usaremos las palabras clave proporcionadas por los autores y las que asigna *Scopus* en su proceso de indización, tanto para el caso peruano como para el caso mundial.

3.3 Limpieza de los datos:

La parte más laboriosa es la limpieza de los datos, que consiste básicamente en normalizar las formas de las palabras clave que pertenecen a un corpus que es alimentado por

investigadores de distintas realidades. En el corpus de palabras clave del caso mundial, el más grande, se contabilizó 21262 palabras clave y se redujo a 15041 formas, principalmente por los siguientes casos:

- Palabras en singular y plural. El software tiene un mecanismo que automatiza el proceso de normalización de estos casos, aun así, es necesario hacer revisiones por las variantes de forma entre el inglés americano y el británico. Por ejemplo: *CARBON-FIBER* y *CARBON-FIBRES*, además de sus variantes en plural.
- Abreviaturas y fórmulas químicas. Se encontraron abreviaturas y palabras juntas que equivalían a las formas extendidas, como por ejemplo en casos como *LITHIUM-ION-BATTERIES* y *LI-ION-BATTERIES* donde se normalizaba a la forma más numerosa. En otros casos se encontraron fórmulas químicas como en el caso de *MOS2* y se normalizaba a la forma *MOLYBDENUM-DISULFIDE*. En otros casos se encontraba la forma extendida junto a la fórmula química.
- Formas invertidas. Se encontraron formas invertidas para un mismo concepto, como por ejemplo *DNA-VACCINE* y *VACCINE,-DNA*.
- Errores tipográficos. En mucho menor proporción se encontraron palabras con errores tipográficos.

3.3 Establecimiento de parámetros para la reducción de datos o extracción de la red bibliométrica:

Como se menciona en la revisión de la literatura, se trata de establecer un número mínimo de frecuencia de documentos en los cuales deben ocurrir dos palabras clave al mismo tiempo para que sean tomadas en cuenta en el análisis. Partiendo de esto, debemos establecer valores iniciales para el primer sub periodo. Estos pueden ser infinitos y arbitrarios; sin embargo, se escogen parámetros tales que el resultado final de la red contenga alrededor de 15 *clusters* o estructuras temáticas, ya que es una aproximación

observada en otros estudios empíricos y bibliométricos, y es un número de temas cuya complejidad es posible analizar, a diferencia de redes con un mayor número de *clusters*. Para el caso peruano, dado que el corpus de palabras y documentos es mucho menor, se establecieron los parámetros iniciales de tal modo que el resultado final tenga alrededor de 6 estructuras temáticas.

Cada uno de los tres quinquenios en análisis tiene su propia red y, por lo tanto, se deben establecer los parámetros para cada uno de ellos. Una vez fijados los valores iniciales para el primer quinquenio, se deben fijar los valores para los siguientes quinquenios. Si en cada uno de los quinquenios se tuviera la misma cantidad de documentos y de palabras, es decir, si no habría variación en dichas cantidades, los parámetros de configuración tendrían los mismos valores en todos los quinquenios. Sin embargo, como la cantidad de documentos y palabras no son constantes en los distintos quinquenios, se deben escoger umbrales distintos en cada uno de ellos, proporcionales a la cantidad de documentos y/o palabras que contiene cada quinquenio con el fin de hacerlos equiparables. Por ejemplo, si un quinquenio tuviera 100 documentos y las palabras A y B coocurren 20 veces, y otro período tuviera 50 documentos con las palabras A y B coocurren 10 veces, nos daría una idea que el mismo patrón del 20% de coocurrencias de A y B se repite en ambos períodos. Por este motivo, para dar cuenta que ambas redes son similares los parámetros deben establecerse en función del número de documentos y palabras de cada período.

Tanto para el caso peruano como para el caso mundial se ha ensayado y establecido una ratio entre el número de palabras clave y el número de documentos que las contienen para cada quinquenio. Al hacer corresponder un número de frecuencia con una ratio para el primer quinquenio, las frecuencias para los siguientes quinquenios deberán seguir una proporcionalidad según las ratios que les corresponden aplicando una

regla de tres simple. Por ejemplo, para el caso peruano, en el quinquenio 2002-2006, a la ratio 9.43 le corresponde una frecuencia de 3 (valor seleccionado de manera arbitraria para tener un punto de partida, pero validado en pruebas previas), a 13.54 le corresponde 4.30 como resultado de la regla de tres, pero queda en 4 porque tenemos que usar números enteros por exigencia del software utilizado en el presente estudio. En las tablas 3 y 4 podemos apreciar las frecuencias establecidas para el caso peruano y mundial respectivamente.

a. Frecuencia de ocurrencias para el caso peruano:

Quinquenio	Número de documentos	Número de palabras	Ratio Palabras/Documentos	Frecuencia
2002-2006	133	1254	9.43	3
2007-2011	261	3534	13.54	4
2012-2016	614	5585	9.09	3

Tabla 3. Perú: frecuencia de ocurrencias de palabras clave (2002-2016)

b. Frecuencia de ocurrencias para el caso mundial:

Quinquenio	Número de documentos	Número de palabras	Ratio Palabras/Documentos	Frecuencia
2002-2006	3273	7018	2.14	20
2007-2011	4115	11476	2.79	26
2012-2016	8218	13547	1.65	15

Tabla 4. Mundial: frecuencia de ocurrencias de palabras clave (2002-2016)

Para el establecimiento de los umbrales para la reducción de la red, tanto para el caso peruano como para el caso mundial, los valores mínimos de frecuencias de coocurrencias son proporcionales a los números de documentos para cada quinquenio.

Las columnas *Mínimo de Nodos* y *Máximo de Nodos* se refieren a valores que determinan el tamaño mínimo y máximo de las redes o temas detectados (tabla 5 y tabla 6). El *Mínimo de Nodos* se refiere a la cantidad mínima de temas (o palabras clave) que cada estructura temática puede tener dentro de la red. Si este umbral es muy bajo sería complicado establecer el nodo con mayor centralidad debido a que obtendríamos muy

pocos nodos dentro de una estructura, no tendríamos la cantidad necesaria de nodos para realizar el proceso de sintetizar y lograr establecer un tema, y habría demasiados *clusters*. Por ejemplo, si estableciéramos el mínimo número de nodos a una palabra, la red podría tener un detalle tal que podría tener tantas estructuras temáticas como palabras clave existan, en lugar de tener estructuras que sinteticen un grupo de palabras en un tema, que es la finalidad del análisis de redes. Para este parámetro se ha establecido como mínimo el valor de 4. El *Máximo de Nodos* se refiere a establecer un máximo número de nodos para cada estructura dentro de la red. Si no establecemos correctamente este parámetro podríamos obtener una red con muy pocas estructuras temáticas, las cuales se constituirían de muchos nodos, lo que haría que temas distintos formen estructuras temáticas heterogéneas, cuando el objetivo de la red es encontrar estructuras temáticas homogéneas en su interior. Este parámetro se ha establecido en 15, que es un promedio establecido a partir de los estudios empíricos citados en la revisión de la literatura del presente caso de estudio. Es así que, para este caso de estudio, las redes no podrán tener menos de 4 nodos ni más de 15, ya que son los valores que nos dieron mejores resultados en los ensayos para escoger los valores definitivos, obteniendo así redes ni muy pequeñas ni muy grandes por el número de nodos resultantes. Tanto los valores mínimos de frecuencias de ocurrencias como de coocurrencias de las palabras clave determinan la cantidad de temas o redes a generarse.

La frecuencia de ocurrencias se refiere a la cantidad de veces que una palabra clave se encuentra en el corpus de palabras sometidas a análisis para ser tomada en cuenta en la red. Esta frecuencia es importante porque establece la relevancia de una palabra clave al momento de construir la red. Aquellas palabras con muy baja frecuencia de ocurrencia provocarían mucho ruido y no tendrían significado importante para la construcción de la red. El cálculo de la mínima frecuencia de ocurrencias del segundo y

tercer quinquenio, se hace de manera proporcional a la ratio de palabras por documento tomando como pivote al primer período. La explicación es que a mayor cantidad de palabras clave por documento hayan, mayor será la probabilidad de que una palabra ocurra. Por lo tanto, el parámetro *mínima frecuencia de ocurrencia* será proporcional a esta ratio en los siguientes quinquenios. Por ejemplo, para el caso mundial, la proporción es 2.14, 2.79 y 1.65 para los tres quinquenios respectivamente. Como la frecuencia mínima para el primer quinquenio se estableció en 20, los parámetros serán 26 y 15 para los siguientes quinquenios. Para el caso mundial, a diferencia del peruano, hay más consistencia porque las palabras se repiten con mucha más frecuencia, es decir una palabra está en más documentos y por este motivo el valor mínimo debe ser más alto para poder obtener aquellas palabras que tengan mayor relevancia.

La frecuencia de coocurrencias está relacionada a los enlaces que hay entre las palabras claves. Los enlaces en la red también deben ser los más relevantes con el fin de establecer las conexiones más importantes tanto dentro como fuera de cada estructura temática, con otras estructuras temáticas dentro de la red. Con la finalidad de construir una red con enlaces relevantes se establece la frecuencia mínima de coocurrencias que debe existir entre dos palabras claves para que dicha relación sea tomada en cuenta. En tanto mayor sea la *mínima frecuencia de coocurrencia*, mayor es la exigencia en la cantidad de relaciones, o coocurrencias, que un par de palabras debe tener para que su relación sea tomada en cuenta al elaborar la red. En este sentido, mientras más documentos contenga un quinquenio, hay más oportunidades (probabilidades) para que un par de palabras coocurran más veces. A diferencia de las ocurrencias, el número de coocurrencias no correlaciona con la ratio de palabras por documento porque a más palabras por documento el par de palabras no coocurrirá más veces.

Para el caso mundial, en los distintos ensayos realizados para establecer un mínimo número básico de coocurrencia en el primer quinquenio, se estableció que 12 era adecuado para un quinquenio con 3273 documentos y para obtener redes de nodos con relaciones más fuertes, más acorde a la cantidad de datos de la muestra a nivel mundial. De manera proporcional se establecieron los valores para los siguientes quinquenios. Nótese que el valor mínimo de coocurrencia no debe ser mayor que el valor mínimo de ocurrencia. Para el caso del quinquenio 2012-2016 hemos dejando el valor en 30, aunque es mayor que la ocurrencia correspondiente, el algoritmo lo reducirá a 15 cuando construya la red (tabla 5).

Quinquenio	Mínima Frecuencia de Ocurrencia	Mínima Frecuencia de Coocurrencia	Mínimo de Nodos	Máximo de Nodos	Redes Generadas
2002-2006	20	12	4	15	14
2007-2011	26	15	4	15	17
2012-2016	15	30	4	15	16

Tabla 5. Mundial: frecuencias de coocurrencias de palabras clave (2002-2016)

Para el caso peruano, el quinquenio 2002-2006 agrupa 133 documentos y se le ha hecho corresponder una coocurrencia mínima de 1 por la poca cantidad de documentos. El siguiente quinquenio (2007-2011) agrupa 261 documentos, que representa casi el doble del anterior y, por lo mismo, le corresponde un número mínimo de coocurrencia de 2 (tabla 6).

Quinquenio	Mínima Frecuencia de Ocurrencia	Mínima Frecuencia de Coocurrencia	Mínimo de Nodos	Máximo de Nodos	Redes Generadas
2002-2006	3	1	4	15	6
2007-2011	4	2	4	15	5
2012-2016	3	5	4	15	3

Tabla 6: Perú: frecuencias de coocurrencias de palabras clave (2002-2016)

4. RESULTADOS

En adelante se visualizarán los temas detectados y se mostrarán los diagramas estratégicos con las respectivas estructuras temáticas detectadas ubicadas en ellos, tanto para el caso peruano como para el caso mundial.

4.1 Perú: análisis del periodo 2002-2016

A continuación, se realizará el análisis de los tres quinquenios para el caso peruano. Se explicará los temas detectados y sus respectivas estructuras internas, así como también su ubicación estratégica en los diagramas resultantes.

4.1.1 Perú: quinquenio 2002-2006

En 133 documentos, se ha detectado seis estructuras temáticas: *PRESSURE-EFFECTS*, *MATHEMATICAL-MODELS*, *ENVIROMENTAL-IMPACT*, *EARTHQUAKES*, *PRECIPITATION-(CHEMICAL)* y *COSTS*. En función del número de documentos, los temas más estudiados son *MATHEMATICAL-MODELS* (47 documentos), *ENVIROMENTAL-IMPACT* (29 documentos) y *PRESSURE-EFFECTS* (25 documentos). Por su ubicación en el diagrama estratégico (fig. 8), los temas motores (más desarrollados y más conectados) se encuentran en el cuadrante superior derecho, según los rangos de densidad y centralidad (tabla 7). Así tenemos: *PRESSURE-EFFECTS*, *ENVIROMENTAL-IMPACT*, y *COSTS*. Aunque este último, por su rango de centralidad (0.50) está exactamente entre el cuadrante superior derecho y el superior izquierdo, entre ser un tema motor y un tema aislado, pero bien desarrollado por su rango de densidad (0.83).

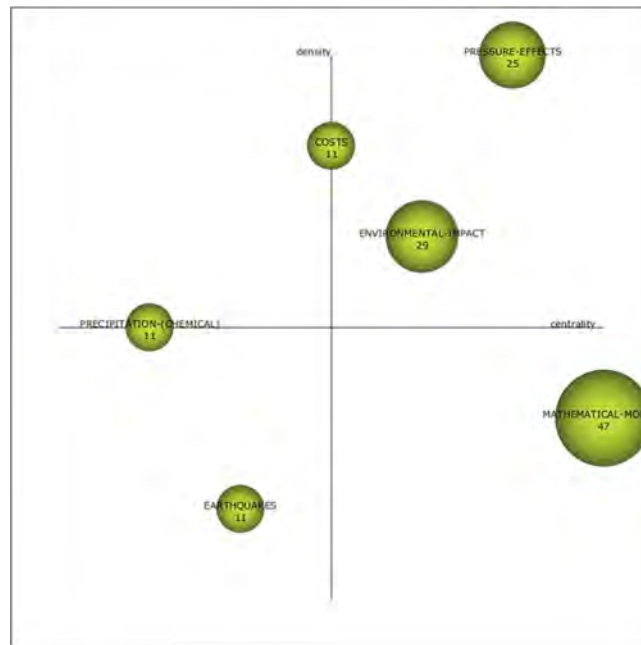


Figura 8. Perú: Diagrama estratégico del quinquenio 2002-2006

Tema	Centralidad	Rango de centralidad	Densidad	Rango de densidad
<i>PRESSURE-EFFECTS</i>	61.42	0.83	55.19	1
<i>COSTS</i>	18.13	0.5	26.25	0.83
<i>ENVIRONMENTAL-IMPACT</i>	29	0.67	23.28	0.67
<i>PRECIPITATION-(CHEMICAL)</i>	12.89	0.17	22.22	0.5
<i>MATHEMATICAL-MODELS</i>	84.95	1	20.76	0.33
<i>EARTHQUAKES</i>	13.64	0.33	18.52	0.17

Tabla 7. Perú: Rangos de centralidad y densidad del quinquenio 2002-2006

El tema *PRECIPITATION-(CHEMICAL)*, por su rango de densidad (0.50) se sitúa exactamente entre el cuadrante superior izquierdo y el inferior izquierdo, entre ser un tema aislado y un tema emergente o por desaparecer, de baja importancia. De manera más clara, dentro del cuadrante inferior izquierdo, el tema *EARTHQUAKES* se muestra como un tema o emergente o en vías de desaparecer. El único tema detectado como transversal es *MATHEMATICAL-MODELS*, muy importante pero poco desarrollado en el área.

Este quinquenio tiene el menor número de documentos (133). En la tabla 8 se muestran todos los temas detectados del quinquenio, el número de documentos que

forman parte de cada una de las estructuras temáticas, cuyos nodos (palabras clave) se han emparejado en una relación de coocurrencia con el nodo principal, el cual da nombre al tema o estructura temática. El nombre del tema se toma del término o palabra clave con más centralidad, es decir, la que se relaciona con todos los nodos de la red. Las palabras clave o nodos de la estructura temática se presentan en orden según el grado de coocurrencia, de mayor a menor.

<i>Temas</i>	<i># docs</i>	<i>Nodos de la estructura temática</i>
<i>PRESSURE-EFFECTS</i>	25	STABILIZED-FINITE-ELEMENT-METHOD, SYNTHESIS-(CHEMICAL), OXIDATION, APPROXIMATION-THEORY, VECTORS, THERMAL-EFFECTS, COOLING, PRESSURE-EFFECTS, INCOMPRESSIBLE-FLOW, MAGNETIC-SUSCEPTIBILITY, TEMPERATURE-DEPENDENCE, INCOMPRESSIBILITY, PLASTICITY, X-RAY-DIFFRACTIONS, ZERO-FIELD-COOLING
<i>MATHEMATICAL-MODELS</i>	47	ALGORITHMS, COMPOSITE-MATERIALS, FAST-FOURIER-TRANSFORMS, MATHEMATICAL-MODELS, POLYMERS, COMPUTER-SIMULATION, OPTIMIZATION, FINITE-ELEMENT-METHOD, PARAMETER-ESTIMATION, MATRIX-ALGEBRA, CONTROL-SYSTEMS, GOLD, INTERPOLATION, LEACHING, OXYGEN
<i>ENVIRONMENTAL-IMPACT</i>	29	RISK-ASSESSMENT, SUSTAINABLE-DEVELOPMENT, PROJECT-MANAGEMENT, ENVIRONMENTAL-IMPACT, ECONOMIC-AND-SOCIAL-EFFECTS, MINING, SATELLITES, SEDIMENTS, WATER-QUALITY, DAMS, EROSION, METALLURGICAL-FURNACES, SOUTHERN-PERU-COPPER-CORPORATION
<i>EARTHQUAKES</i>	11	EARTHQUAKES, SEISMOLOGY, STRUCTURAL-ANALYSIS, DESIGN, SEISMIC-DESIGN, STRESS-ANALYSIS
<i>PRECIPITATION-(CHEMICAL)</i>	11	ELECTRIC-FIELDS, NANOSTRUCTURED-MATERIALS, PRECIPITATION-(CHEMICAL), MAGNETIZATION, SPACE-RESEARCH
<i>COSTS</i>	11	COSTS, OPTICAL-SENSORS, OPTICAL-FIBERS, RENEWABLE-ENERGY-RESOURCES, SULFURIC-ACID

Tabla 8. Perú: estructura interna de los temas detectados en el quinquenio 2002-2006

Sin embargo, es preciso revisar toda la estructura interna del tema, así como sus enlaces externos, para tener una mejor comprensión conceptual del mismo. A continuación, se analiza cada uno de los temas que aparecen como resultado en el diagrama estratégico:

El tema *PRESSURE-EFFECTS*, se relaciona externamente con todas las demás estructuras temáticas detectadas en el presente quinquenio, siendo la relación más fuerte

con *MATHEMATICAL-MODELS*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *THERMAL-EFFECTS*, *MAGNETIC-SUSCEPTIBILITY*, *ZERO-FIELD-COOLING*, *TEMPERATURE-DEPENDENCE*, y *APPROXIMATION-THEORY* (fig. 9).

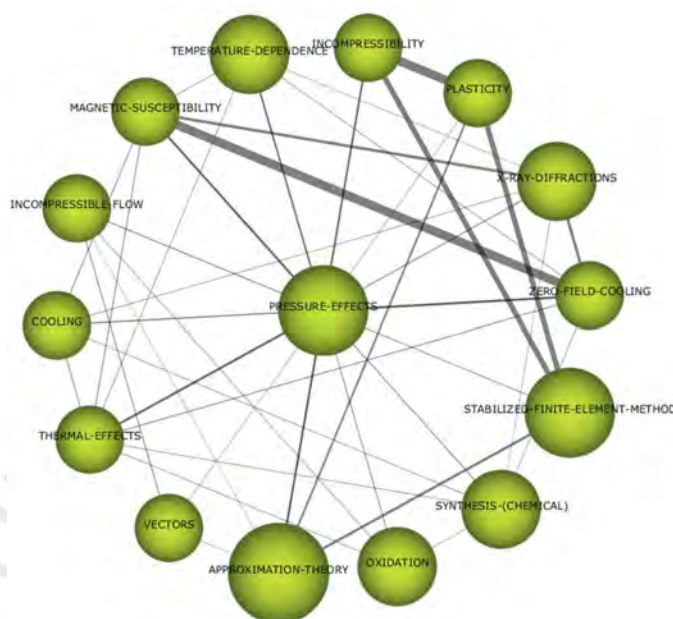


Figura 9. Perú: tema *PRESSURE-EFFECTS* (2002-2006)

La mayoría de las palabras clave de su estructura interna pertenecen a la ingeniería de materiales; el resto, a las ciencias matemáticas (*APPROXIMATION-THEORY*, *STABILIZED-FINITE-ELEMENT-METHOD* y *VECTORS*). Su relación externa más fuerte también lo vincula con las ciencias matemáticas como hemos visto en el párrafo anterior. Todos estos estudios fueron realizados en universidades y/o institutos de investigación. Cabe indicar que *PRESSURE-EFFECTS* solo aparece en este quinquenio y en un solo documento del siguiente quinquenio (2007-2011).

La revisión de los documentos que incluyen la palabra clave *PRESSURE-EFFECTS* en su descripción temática, revela estudios o experimentos con materiales sometidos a altas presiones y sus efectos en la estructura molecular de los llamados compuestos (*compounds*), como en los estudios de Barinotto et al. (2004) y Bustamante

(2004). Se confirma también el uso de herramientas matemáticas y computacionales para parametrizar y hacer simulaciones sobre el comportamiento de los materiales estudiados bajo ciertas condiciones como en el estudio de Cervera et al. (2003).

El tema *MATHEMATICAL-MODELS* se relaciona con todas las demás estructuras temáticas detectadas en el presente quinquenio, siendo la relación más fuerte con *PRESSURE-EFFECTS*. Se hace uso de modelos matemáticos en los estudios de los efectos de la presión y la temperatura en los llamados compuestos de materiales. El nodo central tiene sus relaciones internas más fuertes las tiene con *COMPUTER-SIMULATION*, *PARAMETER-ESTIMATION* y *CONTROL-SYSTEMS* (fig. 10).

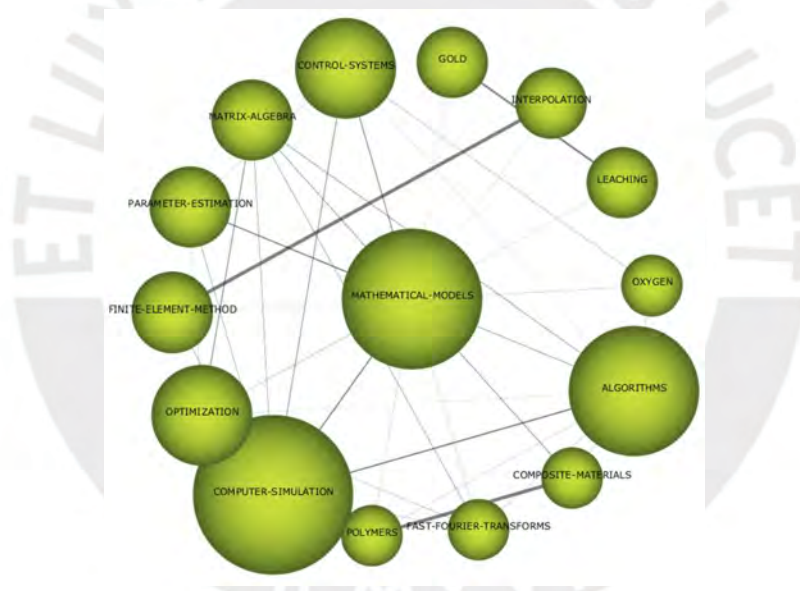


Figura 10. Perú: tema MATHEMATICAL-MODELS (2002-2006)

La revisión de los documentos que aportan a esta estructura temática revela un importante uso de modelos matemáticos junto a algoritmos y/o simulación por computadora para estudios en biomecánica (Rios & Tafur, 2003; Vilcahuaman & Castillon, 2003), informática (Florens & Urma, 2006), algoritmos (MacInnes, 2002), aerodinámica (Cavalcanti & Papini, 2004), minería (Seymour, 2005), entre otros.

El tema **ENVIRONMENTAL-IMPACT** se relaciona con 4 de las otras 5 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio, siendo la relación más fuerte con **MATHEMATICAL-MODELS** y **COSTS**. Sus relaciones internas más fuertes son con **EROSION**, **WATER-QUALITY** y **SUSTAINABLE-DEVELOPMENT** (fig. 11).

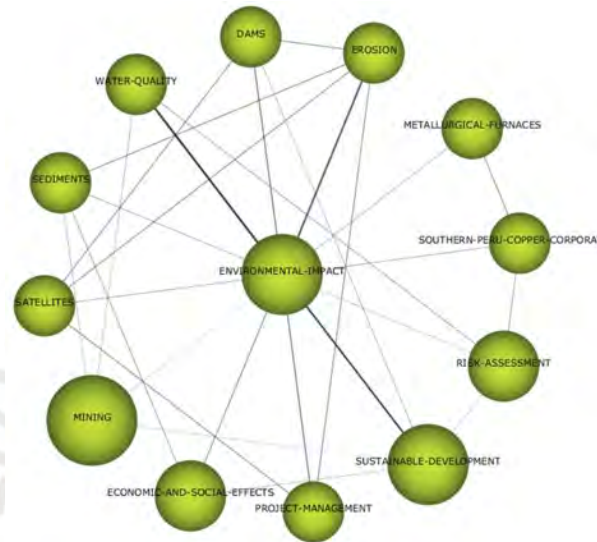


Figura 11. Perú: tema ENVIRONMENTAL-IMPACT (2002-2006)

Para entender mejor el contexto del cual ha surgido esta estructura temática, se ha revisado algunos documentos que aportan a esta estructura. Estos estudios incluyen aspectos de impacto ambiental relacionados a la minería (Leduc, Backens, & Smith, 2004; Walqui, Noriega, Partington, & Alvear, 2006), a la minería y los aspectos culturales del desarrollo sostenible (Joyce & Thomson, 2004), al uso de tecnologías indígenas en sistemas mejorados de aguas pluviales, erosión y control de sedimentos (Botts, Warner, Martincorena, & Mills, 2004) y a la evaluación ambiental con imágenes de satélite para proyectos de gas natural (Osejo, Morante, Gamarra, & Gomez-Barrios, 2004).

El tema **EARTHQUAKES** se relaciona con 3 de las otras 5 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio, siendo la relación más fuerte con **MATHEMATICAL-MODELS**. Su relación interna más fuerte es con **SEISMIC-DESIGN**,

aunque con las demás palabras clave el índice de equivalencia es menor, pero de igual valor entre ellos (fig. 12).



Figura 12. Perú: tema EARTHQUAKES (2002-2016)

La revisión de los documentos que aportan a esta estructura temática revela que son estudios sobre el riesgo sísmico de los monumentos históricos del sur y centro del Perú (Cuadra, Karkee, Ogawal, & Cojas, 2003; Torrealva, Blanco, Tumialan, & Nanni, 2003), así como también el diseño sísmico y estructural de las construcciones (Arbulu & Soto, 2006; Carbajal, Ruiz, & Schexnayder, 2005; Merino, Salazar, & Schexnayder, 2005; Vargas-Neumann, Velásquez, Beas, & Navarro-Grau, 2006).

El tema ***PRECIPITATION-(CHEMICAL)*** se relaciona con 2 de las otras 5 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio (*PRESSURE-EFFECTS* y *ENVIRONMENTAL-IMPACT*), siendo la relación más fuerte con *PRESSURE-EFFECTS*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *ELECTRIC-FIELDS*, *MAGNETIZATION* y *SPACE-RESEARCH*. Si bien el nodo central se relaciona con todos los nodos de la red, hay dos pares de nodos periféricos que tienen relaciones más fuertes:

MAGNETIZACION y NANOSTRUCTURE-MATERIALS, y SPACE-RESEARCH y ELECTRIC-FIELDSK (fig. 13).

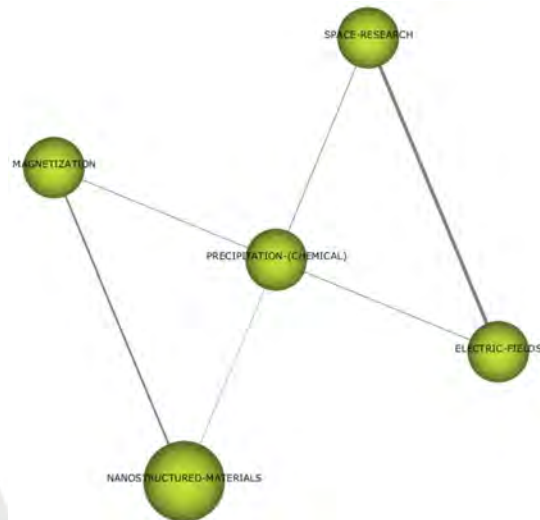


Figura 13. Perú: tema PRECIPITATION-(CHEMICAL) (2002-2006)

La revisión de los documentos que aportan a esta estructura temática revela que se trata de estudios relacionados a las ciencias de los materiales, específicamente a la síntesis o estudio de las propiedades de nano materiales mediante la precipitación química (Chinnasamy et al., 2002; Vega, Medina, Quispe, Gómez, & Gómez, 2005). Hay otros estudios sobre fenómenos atmosféricos con ayuda satelital (Stepanova, Luizar, Antonova, Bosqued, & Kovrazhkin, 2002).

El tema **COSTS** tiene relaciones externas con 3 de las otras 5 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio (*ENVIRONMENTAL-IMPACT*, *MATHEMATICAL-MODELS* y *PRESSURE-EFFECTS*), siendo la relación más fuerte con la estructura temática *ENVIRONMENTAL-IMPACT*. Sus relaciones internas más fuerte las tiene con *OPTICAL-FIBERS*, *OPTICAL-SENSORS* y *RENEWABLE-ENERGY-RESOURCES*, aunque existe una relación más fuerte entre los nodos periféricos *OPTICAL-FIBERS* y *OPTICAL-SENSORS*. La revisión de los documentos que aportan a

esta estructura temática revela que son estudios relacionados a costos de fibra óptica (Lomer & Baldwin-Olguin, 2004) y proyectos sobre energía (Mendoza, Arroyo, & Jiménez, 2005). Otros estudios están relacionados a la minería (Thiel, Beck, & Smith, 2005). En todos ellos se busca la reducción de costos (fig. 14).

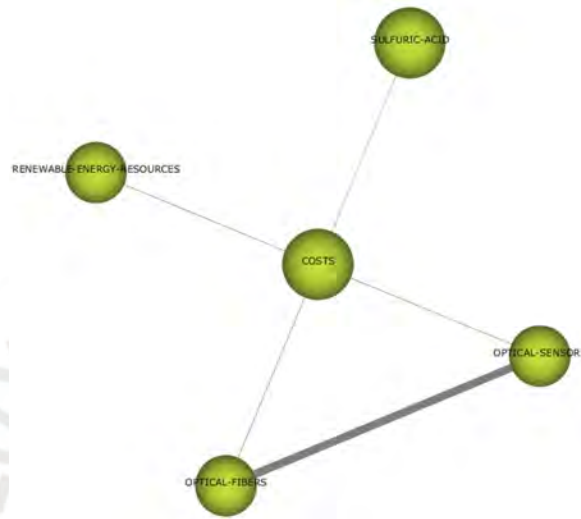


Figura 14. Perú: tema COSTS (2002-2006)

4.1.2 Perú: quinquenio 2007-2011

En 261 documentos, se han detectado cinco estructuras temáticas: *CONTROL-SYSTEMS*, *GEOLOGICAL-SURVEYS*, *ZINC-SULFIDE*, *BIOMECHANICS*, *X-RAY-DIFFRACTIONS*. Los temas más estudiados son *CONTROL-SYSTEMS* (44 documentos), *ZINC-SULFIDE* (20 documentos) y *GEOLOGICAL-SURVEYS* (16 documentos) (tabla 10).

Por su ubicación en el diagrama estratégico (fig. 15), los temas motores del quinquenio, según los rangos de centralidad y de densidad, son: *CONTROL-SYSTEMS*, *GEOLOGICAL-SURVEYS* y *ZINC-SULFIDE*. Igualmente, según los rangos de centralidad y densidad, en el cuadrante inferior izquierdo, los temas detectados son: *X-*

RAY-DIFFRACTIONS y *BIOMECHANICS*, y se les podría considerar temas emergentes o por desaparecer.

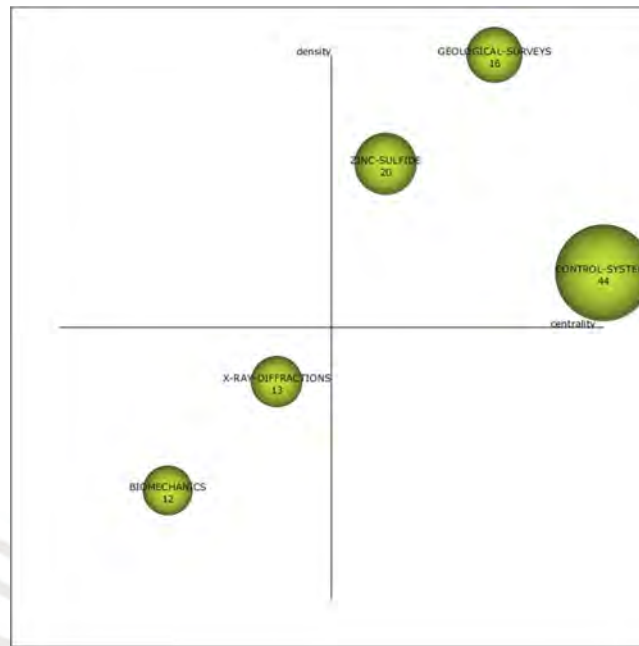


Figura 15. Perú: diagrama estratégico del quinquenio 2007-2011

Tema	Centralidad	Rango de centralidad	Densidad	Rango de densidad
<i>CONTROL-SYSTEMS</i>	14.13	1	30.01	0.6
<i>GEOLOGICAL-SURVEYS</i>	7.56	0.8	117.86	1
<i>ZINC-SULFIDE</i>	7.03	0.6	58.59	0.8
<i>BIOMECHANICS</i>	2.62	0.2	14	0.2
<i>X-RAY-DIFFRACTIONS</i>	4.25	0.4	18.12	0.4

Tabla 9. Perú: Rangos de centralidad y densidad del quinquenio 2007-2011

En la siguiente tabla se aprecian los temas detectados con las palabras clave que conforman su estructura interna:

Temas	# docs	Nodos de la estructura temática
<i>CONTROL SYSTEMS</i>	44	SIGNAL-PROCESSING, ALGORITHMS, CONTROL-SYSTEMS, OPTIMIZATION, NEURAL-NETWORKS, PARAMETER-ESTIMATION, PID-CONTROLLERS, PREDICTIVE-CONTROL-SYSTEMS, MODEL-PREDICTIVE-CONTROL
<i>GEOLOGICAL-SURVEYS</i>	16	HEALTH, GEOLOGICAL-SURVEYS, PETROLEUM-PROSPECTING, PETROLEUM-ENGINEERING, PETROLEUM-DEPOSITS, HEALTH-RISKS, LANDFORMS, NATURAL-GAS-TRANSPORTATION

<i>ZINC-SULFIDE</i>	20	NANOSTRUCTURED-MATERIALS, OPTICAL-PROPERTIES, ZINC-OXIDE, ROOM-TEMPERATURE, ZINC, ZINC-SULFIDE, DOPING-(ADDITIVES)
<i>BIOMECHANICS</i>	12	NONHUMAN, BIOMECHANICS, ELECTRONICS-ENGINEERING, MEDICINE
<i>X-RAY-DIFFRACTIONS</i>	13	X-RAY-DIFFRACTIONS, ALUMINUM, INFRARED-SPECTROSCOPY, LIGHT

Tabla 10. Perú: estructura interna de los temas detectados en el quinquenio 2007-2011

El tema **CONTROL-SYSTEMS** tiene relaciones externas con 1 de las otras 4 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio: *BIOMECHANICS*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *PID-CONTROLLERS*, *PREDICTIVE-CONTROL-SYSTEM*, y *MODEL-PREDICTIVE-CONTROL* (fig. 16).

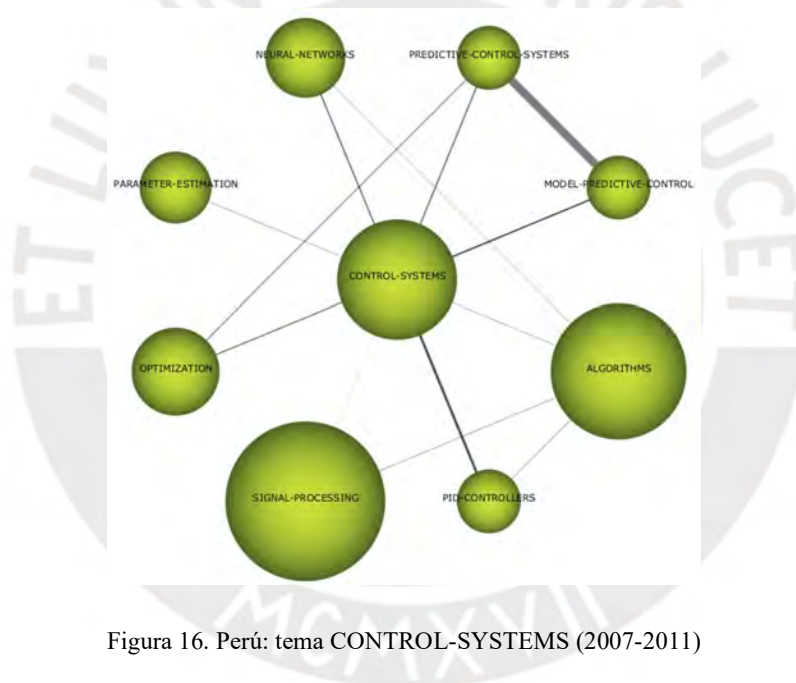


Figura 16. Perú: tema CONTROL-SYSTEMS (2007-2011)

La revisión de los documentos que aportan a esta estructura temática revela que se trata de estudios relacionados a la electrónica de aplicación industrial principalmente (García, Suemitsu, & Pinto, 2011; Manyari-Rivera & Basilio, 2011; Medina-Ramos & Nieto-Chaupis, 2010).

El tema **GEOLOGICAL-SURVEYS** se relaciona con otras estructuras temáticas a través de su nodo periférico *NATURAL-GAS-TRANSPORTATION*, el cual relaciona con

PIPELINES. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *PETROLEUM-PROSPECTING*, *PETROLEUM-DEPOSITS* y *PETROLEUM-ENGINEERING* (fig. 17).

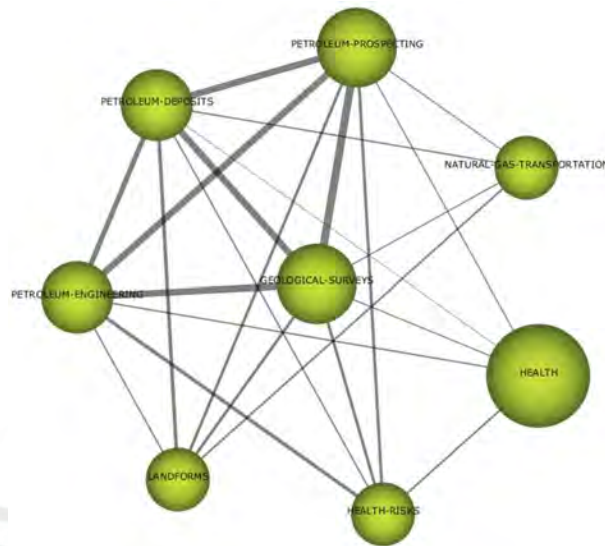


Figura 17. Perú: tema *GEOLOGICAL-SURVEYS* (2007-2011)

La revisión de los documentos de esta estructura temática revela estudios sobre proyectos de gas natural en el Perú (Benny et al., 2010; Casaretto, Prado, Maguire, & Vexler, 2010; Lockard & Vexler, 2010). Se debe resaltar que todos estos estudios son del año 2010, un año después que el Perú se convirtió en país exportador de gas natural (Arce Soto, Espinoza Pérez, Castillo Plasencia, & Vásquez Paniagua, 2013). Además, es importante resaltar que éstos han sido realizados en su totalidad por investigadores adscritos a empresas internacionales del rubro de gas natural establecidas en el Perú.

El tema *ZINC-SULFIDE* se relaciona solo con 1 de las otras 4 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio: *X-RAY-DIFFRACTIONS*. Las relaciones internas más fuertes las tiene con *ZINC-OXIDE*, *ZINC*, y *ROOM-TEMPERATURE* (fig. 18).

La revisión de los documentos revela estudios sobre las propiedades estructurales, ópticas (Jáuregui-Rosas, Perales-Pérez, Noriega, & Castillo, 2011), magnéticas

(Jáuregui-Rosas, Perales-Pérez, Urcia-Romero, Asmat-Uceda, & Quezada-Castillo, 2010) y óptico luminiscentes (Jáuregui-Rosas, Perales Pérez, Jia, Vásquez, & Angelats, 2009) del zinc.

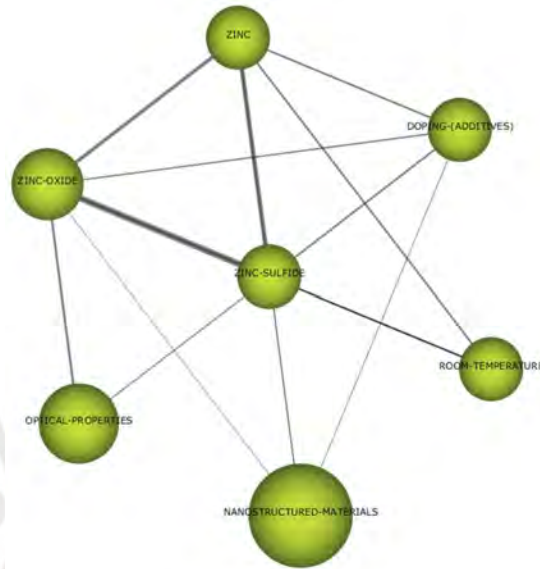


Figura 18. Perú: tema ZINC-SULFIDE (2007-2011)

El tema **BIOMECHANICS** se relaciona externamente con la estructura temática **CONTROL-SYSTEMS** a través de su nodo periférico **ELECTRONICS-ENGINEERING**. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con **ELECTRONICS-ENGINEERING** y **MEDICINE** (fig. 19).

La revisión de los documentos revela estudios sobre el pie plano (Luis A Navarro et al., 2010) y la presión de los pies en la motricidad (L. A. Navarro & Yabar, 2010), apoyados de la electrónica; también sobre el diseño biomecánico basado en biopolímeros como el cascarón de huevo (Torres, Troncoso, Piaggio, & Hajar, 2010) y las fibras del mejillón (Troncoso, Torres, & Grande, 2008).

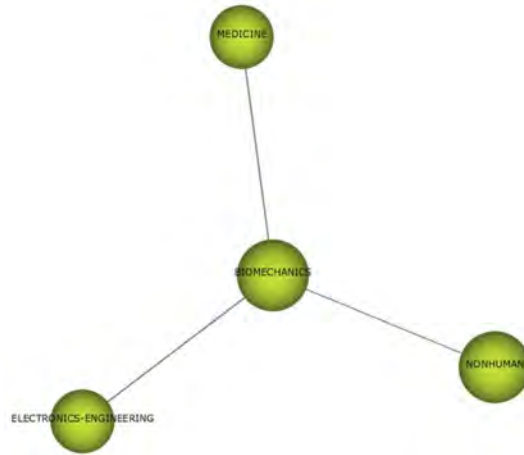


Figura 19. Perú: tema BIOMECHANICS (2007-2011)

El tema *X-RAY-DIFFRACTIONS* se relaciona externamente solo con 1 de las otras 4 estructuras temáticas detectadas para el presente quinquenio: *ZINC-SULFIDE*. Su relación interna más fuerte la tienen con *INFRARED-SPECTROSCOPY* (fig. 20).

La revisión de los documentos revela estudios relacionados a la ciencia de los materiales, principalmente mediante técnicas o métodos para sintetizar (Nieto-Márquez, Espartero, Lazo, Romero, & Valverde, 2009), caracterizar (Couto, Da Costa, Carioca, & De Castro Dutra, 2008) y estudiar las propiedades (Jauregui-Rosas et al., 2008) de nano materiales.

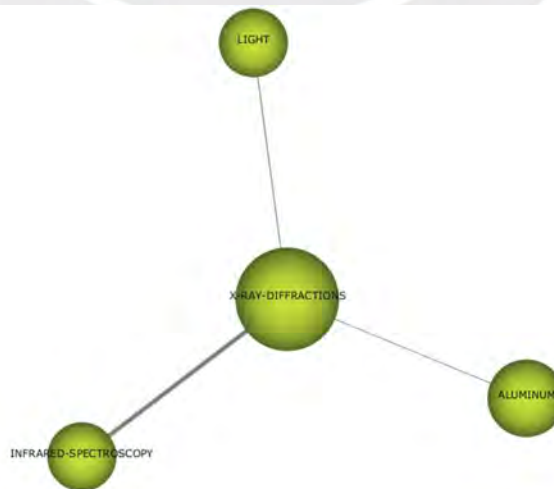


Figura 20. Perú: tema X-RAY-DIFFRACTIONS (2007-2011)

4.1.3 Perú: quinquenio 2012-2016

Con 614 documentos, se han detectado solo tres estructuras temáticas: *SHEAR-DEFORMATION*, *SEISMOLOGY* y *ALGORITHMS*. Los temas más estudiados son *SEISMOLOGY* (66 documentos) y *ALGORITHMS* (54 documentos) (tabla 12).

Por su ubicación en el diagrama, los temas motores del quinquenio, según los rangos de centralidad y de densidad, son: *SHEAR-DEFORMATION* y *SEISMOLOGY* (tabla 11). En el cuadrante inferior izquierdo, como un tema poco desarrollado y poco conectado aparece *ALGORITHMS*, se le podría considerar un tema emergente (fig. 21).

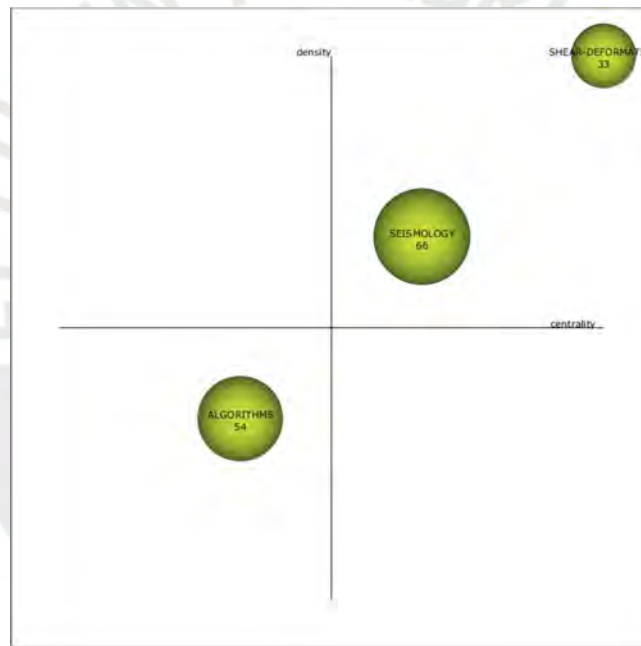


Figura 21. Perú: diagrama estratégico del quinquenio 2012-2016.

Tema	Centralidad	Rango de centralidad	Densidad	Rango de densidad
<i>SHEAR-DEFORMATION</i>	43.61	1	84.09	1
<i>SEISMOLOGY</i>	11.85	0.67	22.84	0.67
<i>ALGORITHMS</i>	1.92	0.33	6.55	0.33

Tabla 11. Perú: Rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2012-2016

En la siguiente tabla se aprecian los temas detectados con las palabras clave que conforman su estructura interna:

<i>Temas</i>	<i># docs</i>	<i>Nodos de la estructura temática</i>
<i>SHEAR-DEFFORMATION</i>	33	SHEAR-DEFORMATION, VIBRATION-ANALYSIS, FUNCTIONALLY-GRADED-PLATES, HIGHER-ORDER-SHEAR-DEFORMATION-THEORY, ANALYTICAL-MODELING, PLATES-(STRUCTURAL-COMPONENTS), PRINCIPLE-OF-VIRTUAL-WORK, SHEAR-STRAIN, EIGENVALUES-AND-EIGENFUNCTIONS, SHEAR-FLOW, CLOSED-FORM-SOLUTIONS, FIRST-ORDER-SHEAR-DEFORMATION-THEORY, GOVERNING-EQUATIONS, VIBRATIONS-(MECHANICAL), FREE-VIBRATION-ANALYSIS
<i>SEISMOLOGY</i>	66	SEISMOLOGY, EARTHQUAKES, STRUCTURAL-ANALYSIS, WALLS-(STRUCTURAL-PARTITIONS), FINITE-ELEMENT-METHOD, MASONRY-MATERIALS, REINFORCEMENT SEISMIC-DESIGN, RELIGIOUS-BUILDINGS, SEISMIC-VULNERABILITY
<i>ALGORITHMS</i>	54	ALGORITHMS, SIGNAL-PROCESSING, IMAGE-PROCESSING, OPTIMIZATION)

Tabla 12. Perú: estructura interna de los temas detectados (2012-2016)

El tema ***SHEAR-DEFORMATION*** está muy cohesionado internamente (fig. 22). Resulta interesante indicar que estos estudios aparecen durante los últimos tres años del quinquenio analizado. La palabra clave, por sí sola, no aparece en años anteriores y se debe resaltar la autoría de un investigador en casi todos los documentos, a veces de manera individual y otras, las menos, en coautoría.

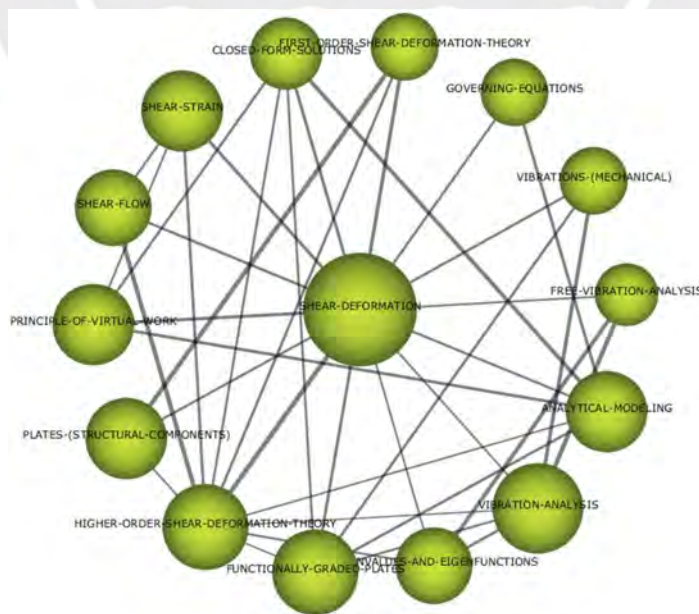


Figura 22. Perú: tema SHEAR-DEFORMATION (2012-2016)

El análisis de su estructura interna da cuenta de palabras clave con mayor índice de equivalencia para la relación de coocurrencia: *HIGHER-ORDER-SHEAR-DEFORMATION-THEORY*, *FIRST-ORDER-SHEAR-DEFORMATION-THEORY*, *PRINCIPLE-OF-VIRTUAL-WORK*, *SHEAR-STRAIN*, *CLOSED-FORM-SOLUTIONS*, *FUNCTIONALLY-GRADED-PLATES* y *SHEAR-FLOW*.

La revisión de los documentos da cuenta de estudios de aplicación teórica en elementos estructurales, principalmente en vigas laminadas (Canales & Mantari, 2016; Mantari & Yarasca, 2015), placas sobre bases elásticas (Mantari, 2015) y placas y cubiertas (Mantari, 2016).

El tema ***SEISMOLOGY*** no tiene relaciones externas con ningún tema detectado en el presente análisis. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *SEISMIC-VULNERABILITY*, *SEISMIC-DESIGN*, *RELIGIOUS-BUILDINGS*, *STRUCTURAL-ANALYSIS* (fig. 23).

La revisión de los documentos da cuenta que la mayoría de estudios relacionados a esta estructura temática muestra interés en la reducción de la vulnerabilidad sísmica en edificios históricos y arqueológicos, especialmente templos religiosos de valor histórico (Cancino et al., 2016; Vargas Neumann, Sosa Cárdenas, Aguilar Vélez, & Yuste Miguel, 2016) así como en viviendas de adobe (Blondet et al., 2016; Torrealva & Alza, 2016). En algunos otros documentos se hace análisis estructural para proyectos de obras públicas (Larena, Mateo, De Tomás, Usón, & Ríos, 2016; Vaquero et al., 2014).

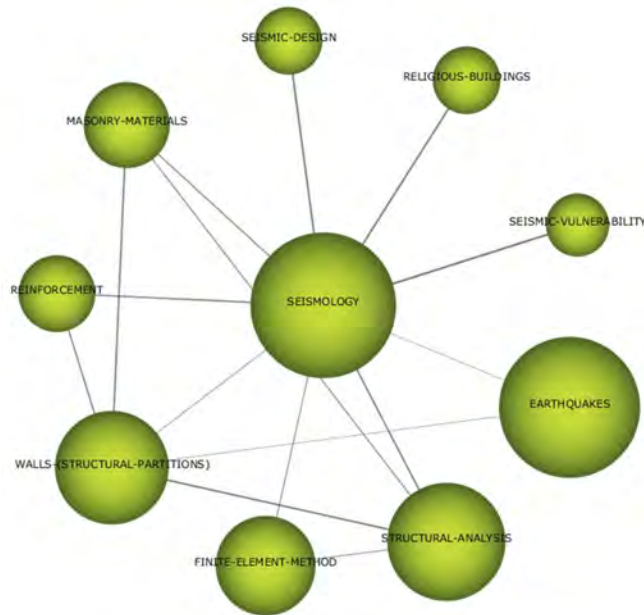


Figura 23. Perú: tema SEISMOLOGY (2012-2016)

El tema **ALGORITHMS** no tiene relaciones externas con ningún tema detectado en el presente análisis. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *SIGNAL-PROCESSING*, *OPTIMIZATION* y *IMAGE-PROCESING* (fig. 24).

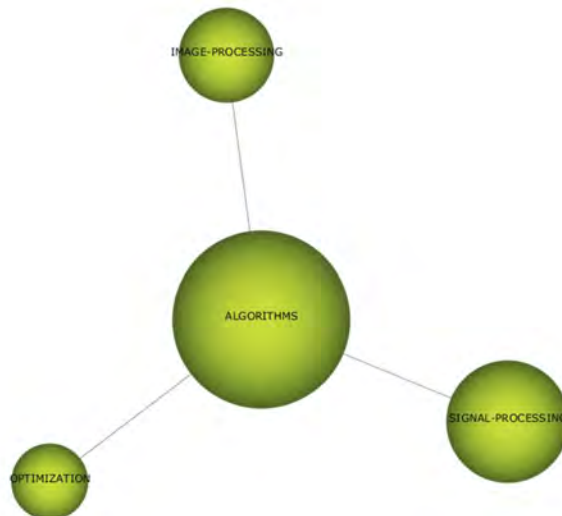


Figura 24. Perú: tema ALGORITHMS (2012-2016)

La revisión de los documentos da cuenta de estudios sobre uso de algoritmos relacionados a ultrasonido y procesamiento de imágenes y señales para la solución de

problemas médicos principalmente (Cisneros-Velarde et al., 2016; Y. Liu et al., 2016; Oscanoa et al., 2016; Ulloa, Rodríguez, Jingyu Liu, Calhoun, & Pattichis, 2014; Zenteno, Castaneda, & Lavarello, 2016; Zvietcovich, Castaneda, Valencia, & Llanos-Cuentas, 2012). Hay otro grupo de documentos de ciencias de la computación donde se usan o estudian algoritmos (Y. Hu, Sirlantzis, Howells, Ragot, & Rodriguez, 2015; Lagos et al., 2016; M A Martínez & Yarleque, 2013; Meneses, Cueva, Tupia, & Guanira, 2015).

4.2 Perú: análisis del mapa evolutivo: 2002-2016

En el mapa evolutivo se muestran los temas detectados en cada quinquenio y su relación entre ellos para ver si se han mantenido en el tiempo. En los tres quinquenios analizados, la estructura temática *MATHEMATICAL-MODELS* evolucionó a *CONTROL-SYSTEMS* y ésta, a *ALGORITHMS*. Del primer al segundo quinquenio, *PRESSURE-EFFECTS* evolucionó a *X-RAY-DIFFRACTIONS*. *PRECIPITATION (CHEMICAL)* evolucionó a *ZINC-SULFIDE* (fig. 26).

El resto de temas no evolucionó o se perdió interés en ellos. No quiere decir necesariamente que no se hayan hecho estudios sobre esos temas; también es probable que la cantidad de documentos o los índices de relaciones de coocurrencia sean tan bajos que no han sido detectadas por los parámetros seleccionados para la metodología empleada en el presente estudio.

En la figura 25 se puede apreciar los bajos grados de similitud (Índice *Jaccard*) entre los tres quinquenios para el caso peruano, es muy poca la cantidad de palabras clave que se conserva de un quinquenio a otro. El quinquenio 2002-2006 agrupa 1252 palabras clave, de las cuales solo 318 se siguieron usando en el quinquenio 2007-2011. Este agrupó 3209 palabras clave nuevas; del total dejaron de usarse 2608, conservándose 919 palabras clave en el quinquenio 2012-2016, a las cuales se le suma 4659 nuevas palabras clave.



Figura 25. Perú: grados de similitud entre quinquenios

Aunque el grado de similitud entre el primer y segundo quinquenios es muy bajo, hay tres temas que mantienen un nexo conceptual, incluso uno de ellos lo mantiene hasta el tercer quinquenio:

PRESSURE-EFFECTS => *X-RAY-DIFFRACTION*

MATHEMATICAL-MODELS => *CONTROL-SYSTEMS* => *ALGORITHMS*

PRECIPITATION-(CHEMICAL) => *ZINC-SULFIDE*

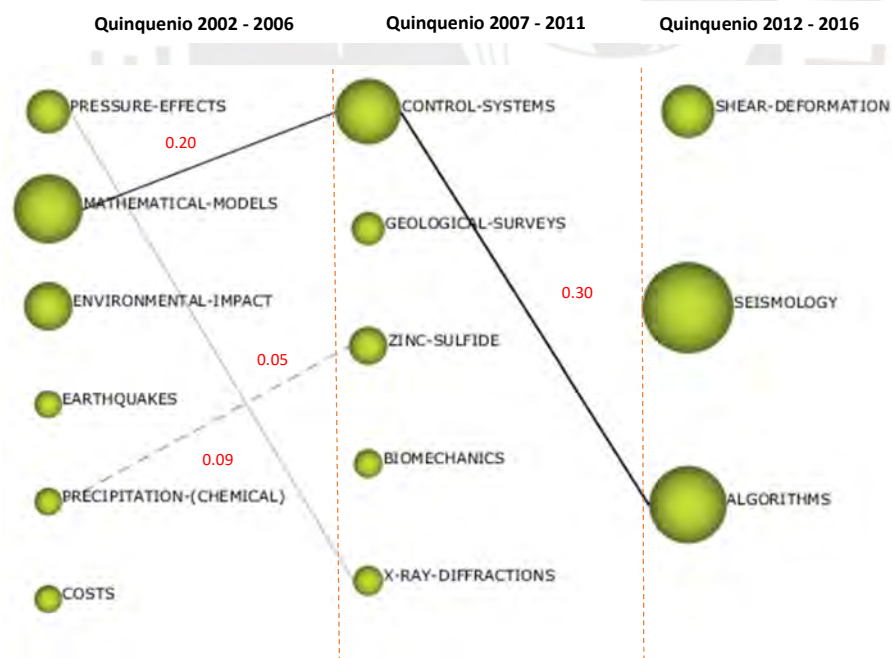


Figura 26. Perú: Mapa evolutivo del 2002 al 2016

Las relaciones se aprecian mejor en el mapa evolutivo mostrado en el gráfico 26, donde se muestra la fuerza de la relación de los temas entre los tres quinquenios

analizados. En la figura 27 se puede ver el grado de similitud (índice *Jaccard*) entre las tres estructuras temáticas del único caso que abarca todos los quinquenios, y lo interesante de esta evolución es que la palabra clave **ALGORITHMS** ha formado parte del nexo conceptual de los tres quinquenios. El número de documentos donde éste aparece también es creciente: 10, 13 y 31 para cada uno de los quinquenios respetivamente, pasando de ser una palabra clave periférica en las estructuras temáticas de los dos primeros quinquenios, a ser una palabra clave central en el último quinquenio. En el diagrama estratégico del quinquenio 2012-2016 (fig. 21), la estructura temática **ALGORITHMS** se ubica en el cuadrante 3, lo que indicaría que se trata de un tema emergente, ya que se desprende de otras estructuras, donde jugaba un rol secundario a formar parte de una estructura donde juega un rol central, y donde las demás palabras clave tienen una fuerte relación conceptual con él.

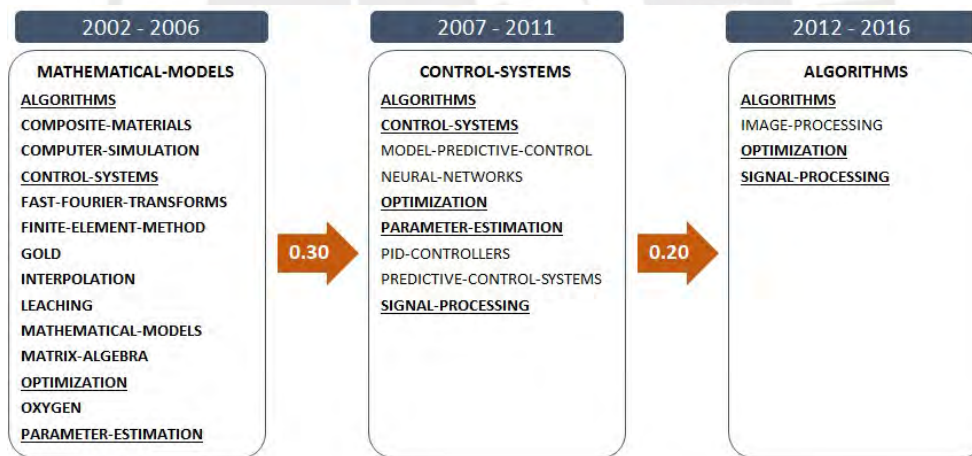


Figura 27. Perú: evolución del tema MATHEMATICAL-MODELS

Se podría decir que el estudio o uso de algoritmos en las publicaciones del área de ingeniería en el Perú ha sido constante durante el periodo estudiado, y estaría empezando a tener protagonismo según lo analizado en el quinquenio 2012 – 2016. La siguiente relación evolutiva se puede apreciar en la figura 28, donde el índice de similitud es muy bajo por tener una coincidencia de una palabra clave. Según el análisis hecho para cada

estructura temática, ambas pertenecen a la ciencia de los materiales, sin embargo, más allá de la coincidencia en una sola palabra clave, se trata de estructuras muy distintas. Al igual que en el caso de *ALGORITHMS*, la palabra clave *X-RAY-DIFFRACTION* pasó de ser periférica a central, ubicándose en el cuadrante 3, como un tema a punto de desaparecer, puesto que ya no aparece en ninguna de las estructuras temáticas detectadas en el siguiente quinquenio.

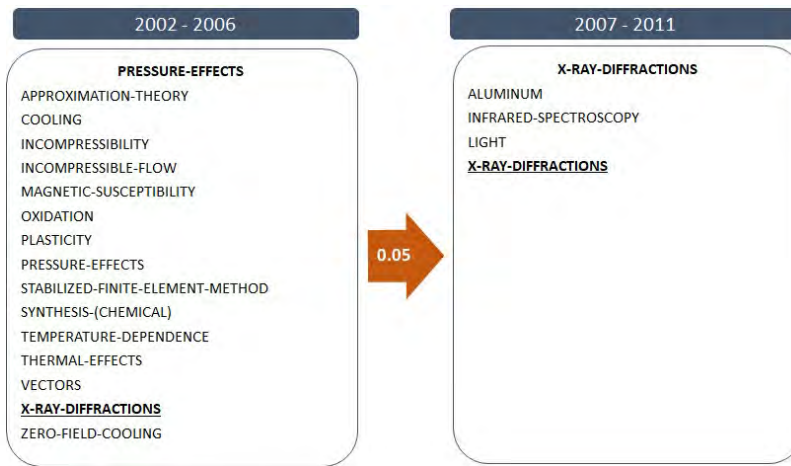


Figura 28. Perú: evolución del tema PRESSURE-EFFECTS

En la última relación evolutiva detectada tenemos el caso donde el único término del nexos conceptual es periférico: *NANOESTRUCTURE-MATERIALS*, vinculado al campo de la nanotecnología (fig. 29).



Figura 29. Perú: evolución del tema PRECIPITATION-(CHEMICAL)

Al revisar la estructura interna de ambos temas se confirma el vínculo mencionado: por un lado, se trata de síntesis o estudio de las propiedades de

nanomateriales mediante la precipitación química, y por otro, de estudios sobre las propiedades estructurales, ópticas, magnéticas y luminiscentes del zinc. En ambos casos se usa métodos propios de la nanotecnología.

4.3 Mundial: análisis del periodo 2002-2016

En este apartado vamos a describir los resultados encontrados para cada uno de los quinquenios y, dentro de ellos, de las estructuras temáticas con sus respectivas relaciones, internas y externas.

4.3.1 Mundial: quinquenio 2002-2006

En el primer quinquenio, con 3273 documentos, se ha detectado catorce temas. Por el número de documentos, los temas más estudiados son *ALGORITHMS* (996 documentos), *NANOTECHNOLOGY* (961 documentos), *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY* (778 documentos) y *ELECTROCHEMISTRY* (736 documentos) (tabla 13). A excepción de *ALGORITHMS*, los demás temas están muy relacionados al campo de la nanotecnología.

Por su ubicación estratégica (fig. 30), los temas motores (más desarrollados y más importantes) se encuentran en el cuadrante superior derecho, según los rangos de densidad y centralidad (tabla 14). Así tenemos: *NANOTECHNOLOGY*, *CELL-CULTURE*, *GENES*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *PROTEINS* y *BIOMATERIAL*.

NANOTECHNOLOGY es una estructura temática muy importante no solo por su ubicación estratégica sino porque el término de por sí, así como los que conforman su estructura interna, revelan un marcado interés por este tema que extiende sus relaciones con las otras dos grandes áreas detectadas en el presente estudio: la biotecnología y la tecnología energética, de las cuales hablaremos con más detalle más adelante.

<i>Temas</i>	<i># docs</i>	<i>Nodos de la red temática</i>
<i>NANOTECHNOLOGY</i>	961	INSTRUMENTATION, ULTRASTRUCTURE, CRYSTALLIZATION, MATERIALS-TESTING, PARTICLE-SIZE, NANOSTRUCTURED-MATERIALS, EVALUATION, CONFORMATION, NANOMATERIAL, NANOSTRUCTURES, MOLECULAR-CONFORMATION, EQUIPMENT-DESIGN, SEMICONDUCTOR, EQUIPMENT
<i>GENES</i>	309	BIOTECHNOLOGY, GENES, GENE-EXPRESSION-REGULATION, GENETIC-ENGINEERING, MOLECULAR-SEQUENCE-DATA, NUCLEOTIDE-SEQUENCE, GENE-EXPRESSION, RNA, BASE-SEQUENCE, GENE-EXPRESSION-PROFILING, MESSENGER-RNA, GENE-SILENCING, GENE-SEQUENCE, GENOME, BACTERIAL-GENOME
<i>CELL-CULTURE</i>	437	CONTROLLED-STUDY, CELLS, HUMAN-CELLS, CELL-CULTURE, ANIMAL-CELL, CULTURED-CELLS, TISSUE-ENGINEERING, PHYSIOLOGY, CYTOLOGY, CELL-PROLIFERATION, CELL-DIFFERENTIATION, DRUG-EFFECT, STEM-CELLS, CELL-CULTURE-TECHNIQUES, OSTEOBLAST
<i>PROTEINS</i>	412	PROTEINS, FLUORESCENCE, ANIMALIA, PROTEIN-BINDING, MASS-SPECTROMETRY, PROTEIN-EXPRESSION, AMINO-ACID-SEQUENCE, RECOMBINANT-PROTEINS, PROTEIN-ANALYSIS, PROTEIN-ENGINEERING, PEPTIDES, YEAST, PROTEOMICS, PROTEOME
<i>UNCLASSIFIED-DRUG</i>	390	UNCLASSIFIED-DRUG, METABOLISM, ANIMAL-EXPERIMENT, ENZYMES, BACTERIA, CELL-LINES, ANIMAL-TISSUE, FEMALE, ANIMAL-MODEL, ESCHERICHIA-COLI, MAMMALIA
<i>BIOMATERIAL</i>	536	SURFACE-PROPERTY, POLYMERS, BIOMATERIAL, FLUORESCENCE-MICROSCOPY, TISSUE, BIOCOMPATIBLE-MATERIALS, SYNTHESIS, RAT, BIOCOMPATIBILITY, BIOMEDICAL-ENGINEERING, POLYETHYLENE-GLYCOLS, BONE, BIOCOMPATIBLE-COATED-MATERIALS, CELL-ADHESION, BIODEGRADATION
<i>SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS</i>	91	INDUSTRIAL-MANAGEMENT, SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS, RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-MANAGEMENT, TECHNOLOGY-TRANSFER, PUBLIC-POLICY
<i>POWER-CONVERTERS</i>	185	ELECTRIC-POTENTIAL, POWER-CONVERTERS, ELECTRIC-CURRENTS, CAPACITORS, VOLTAGE-CONTROL, PULSE-WIDTH-MODULATION, ELECTRIC-CURRENT-CONTROL
<i>ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)</i>	163	ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS), SYSTEM-STABILITY, NONLINEAR-CONTROL-SYSTEMS, LYAPUNOV-METHODS, LINEAR-CONTROL-SYSTEMS, LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES, UNCERTAIN-SYSTEMS
<i>TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY</i>	778	SYNTHESIS-(CHEMICAL), TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY, SCANNING-ELECTRON-MICROSCOPY, X-RAY-DIFFRACTION, NANOTUBES, MORPHOLOGY, SINGLE-CRYSTALS, CRYSTAL-STRUCTURE, PHOTOLUMINESCENCE, NANOWIRES, SURFACE-ACTIVE-AGENTS, ENERGY-DISPERSIVE-SPECTROSCOPY, MESOPOROUS-MATERIALS, ELECTRON-DIFFRACTION, HIGH-RESOLUTION-ELECTRON-MICROSCOPY
<i>ELECTROCHEMISTRY</i>	736	CARBON-NANOTUBES, ELECTROCHEMISTRY, GOLD, DNA, THIN-FILMS, ELECTRODES, ELECTRIC-CONDUCTIVITY, CHEMICAL-MODELS, EQUIPMENT-FAILURE-ANALYSIS, RADIATION-EXPOSURE, BIOSENSORS, PHOTOCHEMISTRY, BIOSENSING-TECHNIQUES, GENETIC-PROCEDURES, MICROELECTRODES
<i>NETWORK-PROTOCOLS</i>	113	NETWORK-PROTOCOLS, INTERNET, DATA-COMMUNICATION-SYSTEMS, QUALITY-OF-SERVICE, CONGESTION-CONTROL-(COMMUNICATION)
<i>LIGHT-EMITTING-DIODE-(LED)</i>	113	LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED), QUANTUM-EFFICIENCY, ELECTROLUMINESCENCE, PHOSPHORESCENCE
<i>ALGORITHMS</i>	996	COMPUTER-SIMULATION, MATHEMATICAL-MODELS, ALGORITHMS, OPTIMIZATION, PROBLEM-SOLVING, WIRELESS-TELECOMMUNICATION-SYSTEMS, MATRIX-ALGEBRA, APPROXIMATION-THEORY, COMPUTATIONAL-METHODS, COMPUTATIONAL-COMPLEXITY, IMAGE-CODING, SIGNAL-TO-NOISE-RATIO, TELECOMMUNICATION-NETWORKS, ITERATIVE-METHODS, GRAPH-THEORY

Tabla 13. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2002-2006)

Si bien el término *NANOTECHNOLOGY* es muy general, ayuda a clasificar un importante número de artículos donde ésta se ha aplicado bajo la ingeniería de materiales principalmente, para poder ubicarnos dentro de un área de la ingeniería.

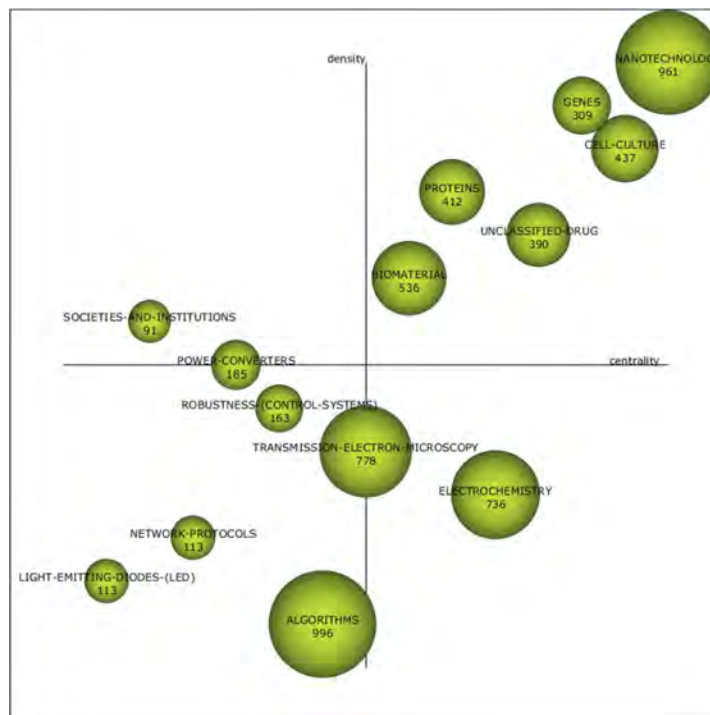


Figura 30. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2002-2006

Tema	Centralidad	Rango de centralidad	Densidad	Rango de densidad
NANOTECHNOLOGY	153.91	1	84.58	1
GENES	99.62	0.86	45.2	0.93
CELL-CULTURE	120.47	0.93	37.38	0.86
PROTEINS	66.27	0.64	23.38	0.79
UNCLASSIFIED-DRUG	79.66	0.79	19.54	0.71
BIOMATERIAL	61.61	0.57	15.43	0.64
SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS	2.42	0.14	14.04	0.57
POWER-CONVERTERS	6.22	0.29	13.67	0.5
ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)	6.57	0.36	12.61	0.43
TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY	30.92	0.5	11.83	0.36
ELECTROCHEMISTRY	77.66	0.71	11.52	0.29
NETWORK-PROTOCOLS	5.06	0.21	11.37	0.21
LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED)	1.26	0.07	10.08	0.14
ALGORITHMS	18.93	0.43	7.21	0.07

Tabla 14. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2002-2006

La nanotecnología se ocupa de los materiales naturales y sintéticos en la escala de 1 a 100 nanómetros. Existen métodos físicos, químicos y biológicos para sintetizar materiales y que requieren de instrumentos especializados (Kulkarni, 2015). Justamente

es por la naturaleza de sus métodos que la nanotecnología extiende su aplicación a otras áreas como la física, la química y la biología, y a todas las demás sub áreas que de ellas se desprenden y que van generando nuevas áreas del conocimiento o de especialización como la bioingeniería, entre otras.

En orden de mayor a menor fuerza, este tema tiene relaciones externas con *ELECTROCHEMISTRY*, *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY*, *BIOMATERIAL*, *CELL-CULTURE*, *PROTEINS*, *UNCLASSIFIED-DRUG* y *LIGHT-EMITTING-DIODE-(LED)* (fig. 31).

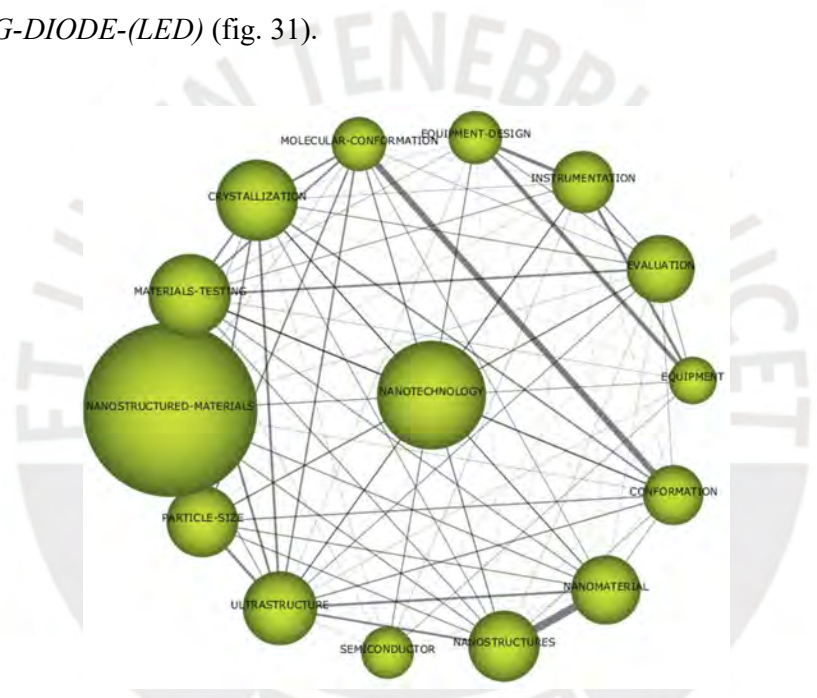


Figura 31. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2002-2006)

La revisión de los nodos que conforman su estructura interna y el grado de coocurrencia con el nodo central indica que las palabras clave *INTRUMENTATION*, *ULTRASTRUCTURE*, *CRYSTALLIZATION* y *MATERIAL-TESTING* son aquellas con las que existe más coocurrencia en los documentos analizados. Un buen ejemplo que incluye dos de esos términos (*INTRUMENTATION* y *ULTRASTRUCTURE*), además de otro que está también dentro de la estructura interna pero con menor grado de coocurrencia (*EQUIPMENT-DESIGN*) es el artículo de Srivastava, Talapatra, Vajtai y Ajayan (2004)

sobre filtros de nanotubos de carbón, que se presenta como solución tecnológica para la industria petrolera así como también para la potabilización del agua mediante la mejora de material cerámico para filtros. Aquí se puede ver claramente la aplicación de la ingeniería de materiales al servicio de la industria petrolera y la salud pública. Reiteramos que este es un buen ejemplo porque ayuda a entender mejor la dificultad que puede existir al momento de querer clasificar los resultados dentro de ramas más específicas de la ingeniería. En este sentido, estudios similares como el del ejemplo podrían ser clasificados dentro de ramas como la ingeniería petrolera o ingeniería sanitaria. Sin embargo, la clasificación que hemos hecho en el presente estudio es más general y apunta a la nanotecnología, término que coincide con el nodo central de la estructura temática.

El tema **GENES**, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas: *PROTEINS*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *CELL-CULTURE*, *ELECTROCHEMISTRY*, *BIOMATERIAL* y *ALGORITHMS* (fig. 32). Las relaciones internas más fuertes las tiene con los siguientes términos: *GENE-EXPRESSION-REGULATION*, *BIOTECHNOLOGY*, *GENE-EXPRESSION* y *GENETIC-ENGINEERING*, los cuales vinculan esta estructura a la biotecnología, al igual que los otros términos de la estructura interna.

Un ejemplo donde encontramos dos de los términos con mayor índice de equivalencia es el artículo de Paine et al. (2005) sobre la modificación genética del arroz *Golden* para mejorar su valor nutricional. Otro tipo de estudios dentro de esta estructura es la secuenciación de genomas de bacterias como las que hicieron Heidelberg et al. (2002) para la reducción de iones de metales pesados en el agua, buscando dar soluciones a problemas con el agua contaminada. En ambos estudios interviene la ingeniería genética.

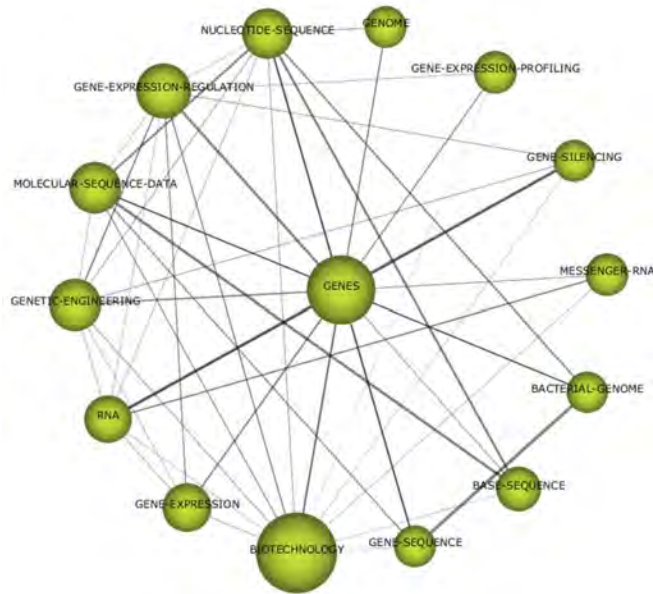


Figura 32. Mundial: tema GENES (2002-2006)

El tema **CELL-CULTURE**, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *BIOMATERIAL*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *PROTEINS*, *GENES*, *NANOTECHNOLOGY* y *ELECTROCHEMISTRY* (fig. 33).

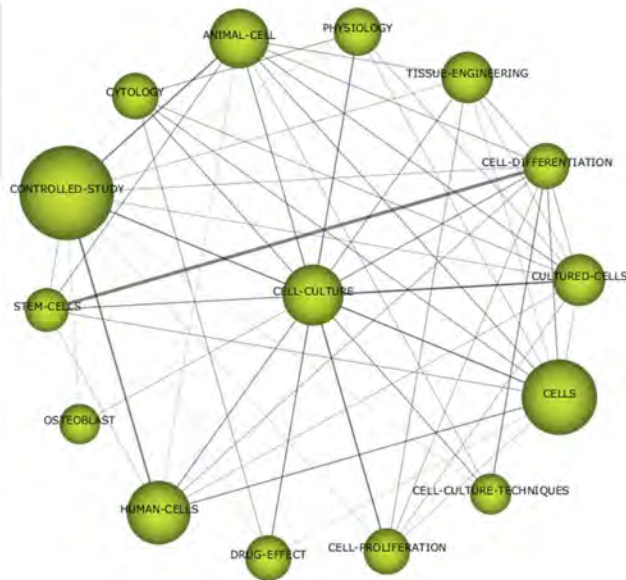


Figura 33. Mundial: tema CELL-CULTURE (2002-2006)

Las relaciones internas más fuertes las tiene con los siguientes términos: *CELL-PROLIFERATION*, *CELL-DIFFERENTIATION*, *CELL-CULTURE-TECHNIQUES* y *CYTOLOGY*. Estos y los demás términos de su estructura interna también los vinculan con la biotecnología.

Un ejemplo que muestra la relación entre esta estructura temática con la nanotecnología y que contiene el término (*CELL-PROLIFERATION*) con mayor índice de equivalencia con el nodo central es el artículo de Zanello, Zhao, Hu y Haddon (2006) sobre la proliferación de osteoblastos y la formación de hueso a través de nanotubos de carbón. Otro ejemplo que ayuda a contextualizar esta estructura temática es el de Lanza et al. (2002) sobre la generación de tejido compatible a través la clonación terapéutica (trasplante a nivel celular) en tejido animal con miras a reducir el rechazo de tejido en terapias regenerativas.

El tema **PROTEINS**, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *GENES*, *CELL-CULTURE*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *BIOMATERIAL*, *ELECTROCHEMISTRY*, *NANOTECHNOLOGY* y *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY* (fig. 34). Las relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *PROTEIN-ANALYSIS* y *PROTEOME*.

Sus relaciones internas y externas también lo vinculan con biotecnología. Un ejemplo que incluye los dos términos con mayor índice de equivalencia de su red interna es el artículo de Taylor et al. (2003) sobre la caracterización del proteoma (juego completo de proteínas) mitocondrial del corazón humano, que crea una base de datos de proteínas que aporta al descubrimiento de nuevas funciones y vías mitocondriales.



Figura 34: Mundial: tema PROTEINS (2002-2006)

Otro ejemplo que incluye otros términos de su estructura interna es el artículo de Van Berkel et al. (2002) sobre la producción a gran escala de proteínas recombinantes como la lactoferrina en la leche de vacas transgénicas, y que muestra el potencial del ganado transgénico en la elaboración de fármacos de origen biológico.

El tema *UNCLASSIFIED-DRUG*, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *CELL-CULTURE*, *GENES*, *PROTEINS*, *BIOMATERIAL* y *ELECTROCHEMISTRY* (fig. 35). Las relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *ANIMAL-EXPERIMENT*, *ANIMAL-MODEL*, *MAMMALIA* y *FEMALE*.

Es un tema que también está vinculado con la biotecnología. Como ejemplo podemos citar el artículo de McCaffrey et al. (2003) sobre la inhibición del virus de la hepatitis B en ratones mediante un fármaco silenciador de genes. Otro ejemplo que incluye términos de su estructura interna es el artículo de Bach et al. (2003) sobre el aislamiento de fármacos activos contra priones (proteínas) de mamíferos mediante un prueba de detección basado en levaduras.



Figura 35: Mundial: tema UNCLASSIFIED-DRUG (2002-2006)

El tema **BIOMATERIAL**, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *CELL-CULTURE*, *NANOTECHNOLOGY*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *PROTEINS*, *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY*, *ELECTROCHEMISTRY* y *GENES* (fig. 36).



Figura 36. Mundial: tema BIOMATERIAL (2002-2006)

Es un tema vinculado a la biotecnología y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *BIOCOMPATIBLE-MATERIALS*, *BIOCOMPATIBLE-COATED-MATERIALS* y *BONE*. Aquí encontramos artículos como el de Li (2003) sobre nano recubrimientos biomiméticos con capacidad de promover el crecimiento de tejido óseo, o el artículo de Barrère et al. (2003) acerca de recubrimientos generadores de tejido óseo sobre implantes metálicos porosos.

En el cuadrante superior izquierdo se encuentran los temas *SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS* y *POWER-CONVERTERS*, especializados y secundarios, con cierto desarrollo, pero poco relacionados en el área para el quinquenio analizado, aunque el último, por su rango de densidad (0.50) se encuentra exactamente entre el cuadrante superior izquierdo y el inferior izquierdo, entre ser un tema secundario y un tema emergente o por desaparecer.

El tema ***SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS*** tiene escasas relaciones externas con temas que no aparecen en el análisis realizado. Efectivamente se trata de un tema aislado. Las relaciones internas con todos sus nodos son más parejas: *RESEARCH-AND-DEVELOPMENT-MANAGEMENT*, *PUBLIC-POLICY*, *INDUSTRIAL-MANAGEMENT* y *TECHNOLOGY-TRANSFER* (fig. 37).

Todo está vinculado a la gestión de ciencia, tecnología e innovación. Son buenos ejemplos los artículos de Debackere y Veugelers (2005) sobre el rol de las instituciones académicas de transferencia tecnológica en la mejora de los vínculos entre la ciencia e industria; y el artículo de Blind, Edler, Frietsch y Schmoch (2006) donde plantean ideas para políticas de patentes en Alemania.

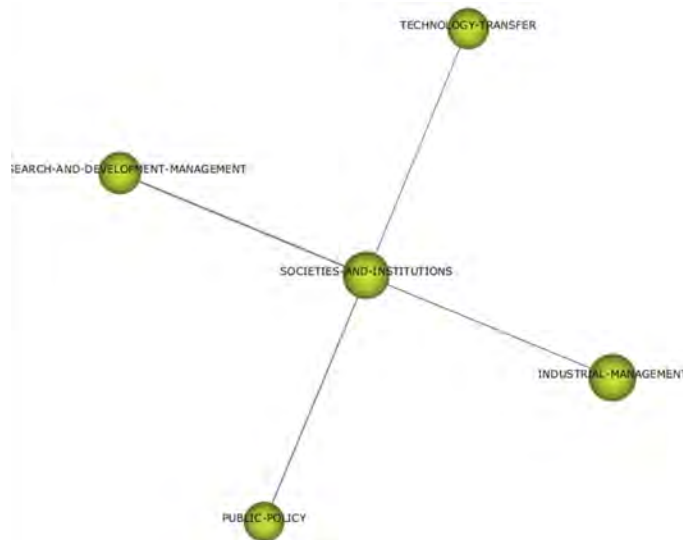


Figura 37. Mundial: tema SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS (2002-2006)

El tema ***POWER-CONVERTERS*** tiene relaciones externas solo con el tema *ALGORITHMS*. Es un tema vinculado a la tecnología energética y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *VOLTAGE-CONTROL*, *ELECTRIC-CURRENT-CONTROL*, *POWER-CONVERTERS* y *PULSE-WIDTH-MODULATION* (fig. 38).

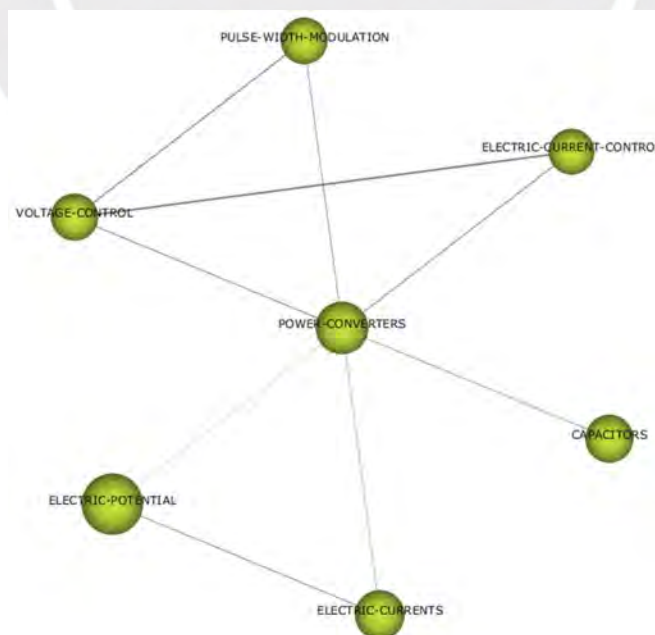


Figura 38. Mundial: tema POWER-CONVERTERS (2002-2006)

Como ejemplo se puede citar el artículo de Glinka y Marquardt (2005) sobre una nueva familia de convertidores AC / AC multinivel para satisfacer la futura demanda en vehículos eléctricos, así como el diseño de un convertidor de energía para vehículos híbridos de Solero, Lidozzi y Pomilio (2005).

En el cuadrante inferior izquierdo se han detectado cuatro temas emergentes o que podrían desaparecer, y según los rangos de centralidad y de densidad, los temas aparecen en el siguiente orden: *ALGORITHMS*, *ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)*, *NETWORK-PROTOCOLS* y *LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED)*. Por su rango de centralidad (0.50) hay un tema que está exactamente entre este cuadrante y el inferior derecho, entre ser un tema secundario y un tema básico y transversal: *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY*.

El tema *ALGORITHMS*, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *NETWORK-PROTOCOLS*, *ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)*, *NANOTECHNOLOGY*, *ELECTROCHEMISTRY*, *POWER-CONVERTERS* y *GENES*. Es un tema vinculado a las ciencias de la computación y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *OPTIMIZATION*, *COMPUTATIONAL-COMPLEXITY* y *COMPUTER-SIMULATION* (fig. 39).

El uso de algoritmos incrementales en redes de datos para la optimización del uso de energía y ancho de banda de Rabbat y Nowak (2005) así como la aplicación de conceptos subyacentes de algoritmos de enrutamiento para la calidad de servicio en Internet de Van Mieghem y Kuipers (2004) son ejemplos de artículos que aportan a esta estructura temática.

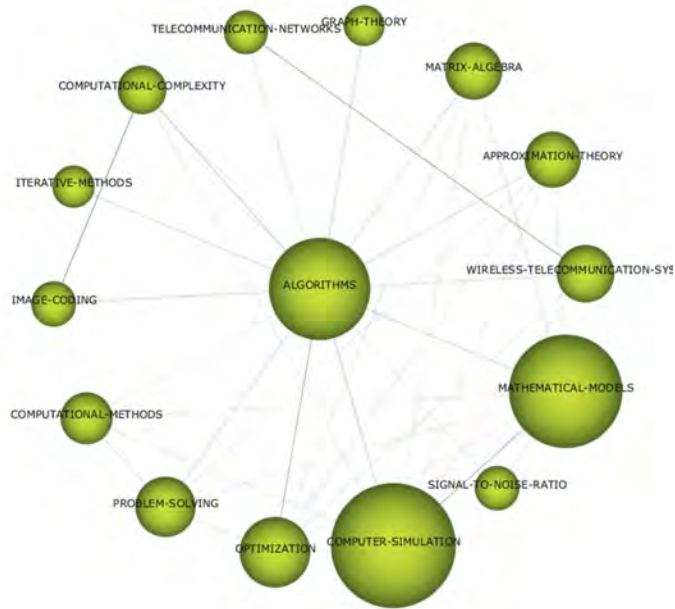


Figura 39. Mundial: tema ALGORITHMS (2002-2006)

El tema **ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)** solo tiene relación externa con el tema *ALGORITHMS*. Es un tema vinculado a ingeniería de control y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *UNCERTAIN-SYSTEMS* y *LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES* (fig. 40).

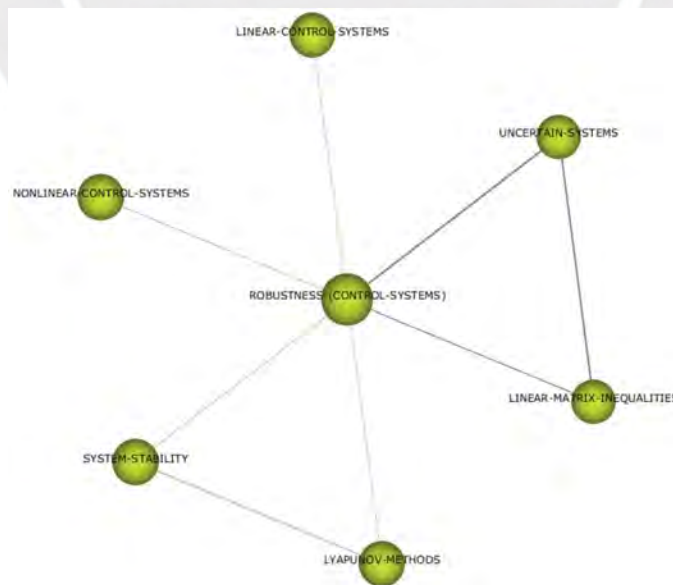


Figura 40. Mundial: tema ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS) (2002-2006)

Como ejemplos de artículos para este tema podemos citar el control robusto de movimiento no lineal de un helicóptero de Isidori, Marconi y Serrani (2003) así como la propuesta de una estructura de controlador para su aplicación en el andar de un robot bípedo de Plestan, Grizzle, Westervelt, y Abba (2003).

El tema **NETWORK-PROTOCOLS** solo tiene relación externa con el tema **ALGORITHMS**. Es un tema vinculado a la ciencia de la computación y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos **INTERNET**, **CONGESTION-CONTROL-(COMMUNICATION)** y **QUALITY-OF-SERVICE** (fig. 41).

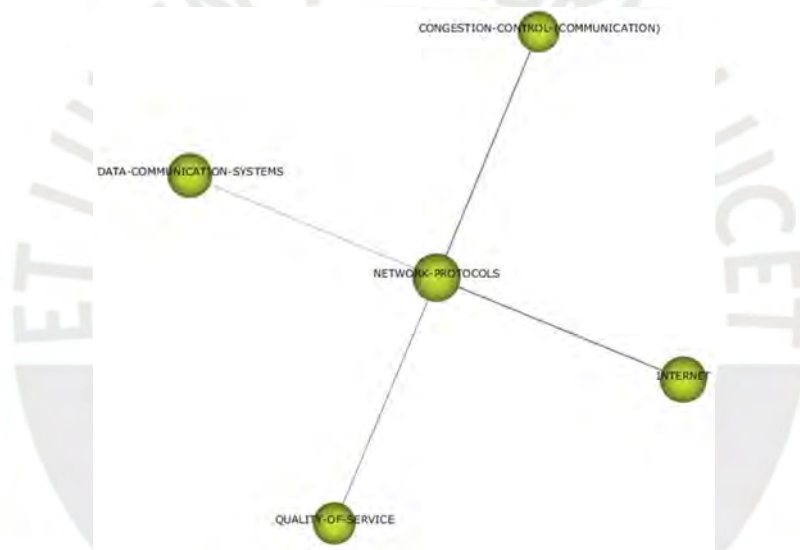


Figura 41. Mundial: tema NETWORK-PROTOCOLOS (2002-2016)

Como ejemplos de artículos para este tema podemos citar la arquitectura *peer to peer* para la transmisión de multimedia a través de Internet, de Tran y Hua (2004) así como la propuesta de una arquitectura para redes de comunicación más allá de 3G que permite la convivencia de diferentes tecnología y operadores móviles, de Niebert et al. (2004).

El tema **LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED)** solo tiene relación externa con los temas **TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY** y **NANOTECHNOLOGY**. Es un

tema vinculado a nanotecnología y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *ELECTROLUMINESCENCE* y *PHOSPHORESCENCE* (fig. 42). Como ejemplos de artículos para este tema podemos citar la fabricación de dispositivos electrofosforescentes basados en polímeros de alta eficiencia con miras a mejorar las pantallas o paneles planos, poniendo de manifiesto el potencial de la tecnología OLED (*organic light emitting diodes*) de Gong et al. (2002), así como el estudio de la fluorescencia y fosforescencia en materiales orgánicos frente a los materiales inorgánicos para la fabricación de LED de Köhler, Wilson y Friend (2002).

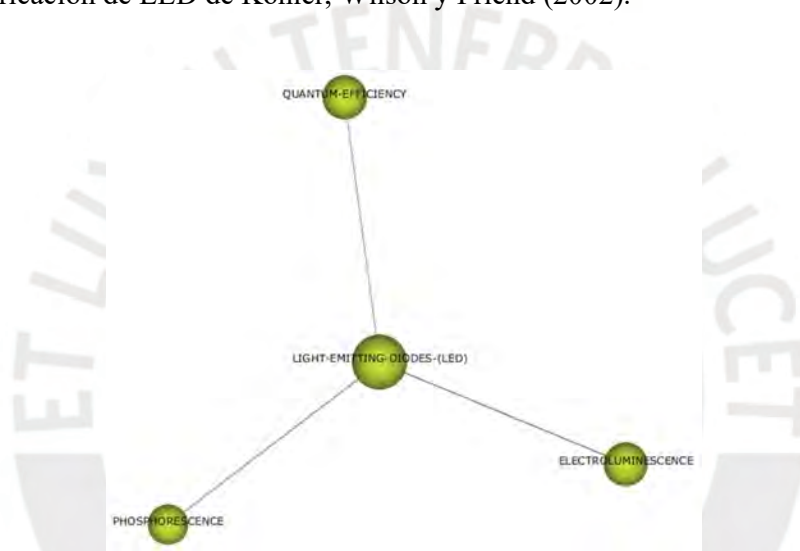


Figura 42. Mundial: tema LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED) (2002-2006)

El tema *TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY*, en orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *NANOTECHNOLOGY*, *ELECTROCHEMISTRY*, *BIOMATERIAL*, *LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED)* y *PROTEINS* (fig. 43). Es un tema vinculado a nanotecnología ya que es una técnica de microscopía muy usada en este campo (Kulkarni, 2015). Sus relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *SYNTHESIS-(CHEMICAL)*, *X-RAY-DIFFRACTION* y *ELECTRON-DIFFRACTION*. Como ejemplos de artículos para este tema podemos citar una nueva forma de sintetizar, mediante métodos químicos, nano cristales planos de plata,

los cuales son denominados nano discos de plata, de Maillard y Pileni (2002), así como la fabricación de nanotubos de silicio, de Sha et al. (2002).



Figura 43. Mundial: tema TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY (2002-2006)

En el cuadrante inferior derecho se ha detectado solo un tema básico y transversal: ***ELECTROCHEMISTRY***. En orden de mayor a menor fuerza, tiene relaciones externas con los temas *NANOTECHNOLOGY*, *GENES*, *ALGORITHMS*, *BIOMATERIAL*, *PROTEINS* y *UNCLASSIFIED-DRUG*. Es un tema vinculado a nanotecnología y cuyas relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *BIOSENSING-TECHNIQUES*, *MICROELECTRODES* y *EQUIPMENT-FAILURE-ANALYSIS* (fig. 44). Como ejemplos de artículos para este tema podemos citar los polímeros conductores en sensores químicos electrónicos de Janata y Josowicz (2003), así como eliminación electroquímica de iones de fluoruro de aguas residuales industriales, de Shen, Chen, Gao y Chen (2003).



Figura 44. Mundial: tema ELECTROCHEMISTRY (2002-2006)

4.3.2 Mundial: quinquenio 2007-2011

Con 4115 documentos, se han detectado diecisiete temas. Por el número de documentos, los temas más estudiados son *NANOTECHNOLOGY* (1314 documentos), *NANOPARTICLES* (1190 documentos), *NANOWIRES* (1010 documentos) y *GRAPHITE* (869 documentos) (tabla 15).

Por su ubicación estratégica (fig. 45), los temas motores del quinquenio, según los rangos de centralidad y de densidad, son los siguientes: *NANOTECHNOLOGY*, *SOLAR-ENERGY*, *TUMOR-CELL-LINES*, *HUMAN-CELLS* y *ELECTRODES* (tabla 16).

El tema *NANOTECHNOLOGY* mantiene el más alto rango de centralidad y densidad ya que tiene relación con todos los demás temas detectados en este quinquenio y su estructura interna también muestra relaciones fuertes entre sus nodos. Es preciso indicar los temas de este quinquenio con los que tiene estrecha relación siguiendo un criterio conceptual, en orden de mayor a menor fuerza: *NANOWIRES*, *GRAPHITE*, *NANOPARTICLES*, *CATALYSIS*, *CARBON-NANOTUBES*, *QUANTUM-DOT* y

RAMAN-SCATTERING. La relación interna más fuerte la tiene con *PARTICLE-SIZE* y *ULTRASTRUCTURE* (fig. 46).

<i>Temas</i>	<i># docs</i>	<i>Nodos de la red temática</i>
<i>NANOTECHNOLOGY</i>	1314	NANOTECHNOLOGY, NANOSTRUCTURES, NANOMATERIAL, ULTRASTRUCTURE, SURFACE-PROPERTY, PARTICLE-SIZE, MATERIALS-TESTING, CRYSTALLIZATION, CONFORMATION, MOLECULAR-CONFORMATION, INSTRUMENTATION, MACROMOLECULE, MACROMOLECULAR-SUBSTANCES, EQUIPMENT-DESIGN, EQUIPMENT-FAILURE-ANALYSIS
<i>NANOPARTICLES</i>	1190	NANOPARTICLES, NANOSTRUCTURED-MATERIALS, TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY, GOLD, PLASMONS, METAL-NANOPARTICLES, SURFACE-PLASMON-RESONANCE, SILVER, SILICA, GOLD-NANOPARTICLES, DRUG-DELIVERY, HELA-CELLS, IRON-OXIDES, MAGNETIC-RESONANCE-IMAGING, SUPERPARAMAGNETISM
<i>NANOWIRES</i>	1010	NANOWIRES, SEMICONDUCTOR, ELECTRIC-CONDUCTIVITY, SILICON, NANOTUBES, LIGHT EQUIPMENT, FIELD-EFFECT-TRANSISTORS, ZINC-OXIDE, ELECTRIC-WIRE, LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED), OPTOELECTRONIC-DEVICES, ZINC, ZNO-NANOWIRES, PIEZOELECTRICITY
<i>GRAPHITE</i>	869	GRAPHENE, GRAPHITE, OXIDES, CARBON, ATOMIC-FORCE-MICROSCOPY, RAMAN-SPECTROSCOPY, MONOLAYERS, CHEMICAL-VAPOR-DEPOSITION, ARTIFICIAL-MEMBRANES, GRAPHENE-SHEETS, OXIDATION-REDUCTION, GRAPHENE-OXIDES, SINGLE-LAYER, NANOSHEETS, GRAPHENE-LAYERS
<i>SOLAR-ENERGY</i>	657	POLYMERS, SOLAR-CELLS, SOLAR-ENERGY, POWER-SUPPLY, CONVERSION-EFFICIENCY, HETEROJUNCTIONS, PHOTOVOLTAIC-CELLS, PHOTOVOLTAIC-EFFECTS, POWER-CONVERSION-EFFICIENCIES, ENERGY-CONVERSION, SOLAR-POWER-GENERATION, PHOTOELECTROCHEMICAL-CELLS, ORGANIC-SOLAR-CELL, POLYMER-SOLAR-CELLS, BULK-HETEROJUNCTION
<i>TUMOR-CELL-LINES</i>	468	METABOLISM, TUMOR-CELL-LINES, DRUG-EFFECT, CELLS, IN-VIVO, TUMORS, PATHOLOGY, DRUG-CARRIERS, POLYETHYLENE-GLYCOLS, NEOPLASMS, DISEASES, CANCER-CELLS, ANTINEOPLASTIC-AGENT, DOXORUBICIN, ONCOLOGY
<i>HUMAN-CELLS</i>	395	CONTROLLED-STUDY, CELL-CULTURE, HUMAN-CELLS, CELL-LINES, ANIMAL-EXPERIMENT, GENE-EXPRESSION, ANIMAL-CELL, CELL-DIFFERENTIATION, MOLECULAR-SEQUENCE-DATA, STEM-CELLS, EMBRYONIC-STEM-CELL, CULTURED-CELLS, GENE-EXPRESSION-REGULATION, FLOW-CYTOOMETRY, PLURIPOTENT-STEM-CELL
<i>ELECTRODES</i>	510	ELECTRODES, ELECTROCHEMISTRY, LITHIUM, IONS, LITHIUM-ION-BATTERIES, LITHIUM-BATTERIES, LITHIUM-COMPOUNDS, LITHIUM-ALLOYS, ANODES, ELECTRIC-RESISTANCE, ELECTROCHEMICAL-ELECTRODES, ENERGY-STORAGE, CATHODES, ELECTRIC-BATTERIES, ELECTRODE-MATERIAL
<i>CATALYSIS</i>	526	SYNTHESIS-(CHEMICAL), TITANIUM-DIOXIDE, CATALYSIS, OXYGEN, PLATINUM, PHOTOCHEMISTRY, HYDROGEN, CATALYSTS, CATALYST-ACTIVITY, PHOTOCATALYSIS
<i>ANIMAL-MODEL</i>	226	UNCLASSIFIED-DRUG, ANIMAL-MODEL, MALE, ANIMAL-TISSUE, MUS
<i>COMPUTER-SIMULATION</i>	372	COMPUTER-SIMULATION, ALGORITHMS, CHEMICAL-STRUCTURE, CHEMICAL-MODELS, MOLECULAR-MODELS, RADIATION-SCATTERING
<i>GENES</i>	241	DNA, GENES, NUCLEIC-ACIDS, BASE-SEQUENCE, GENETIC-ENGINEERING, NUCLEOTIDE-SEQUENCE, DNA-SEQUENCE-ANALYSIS, GENE-SEQUENCE, GENOME
<i>CARBON-NANOTUBES</i>	683	CARBON-NANOTUBES, SCANNING-ELECTRON-MICROSCOPY, NANOCOMPOSITES, LUORESCENCE-MICROSCOPY, ROOM-TEMPERATURE, SINGLE-WALLED-CARBON-NANOTUBES, CAPACITORS, SUPER-CAPACITORS, CAPACITANCE, ELECTROLYTIC-CAPACITORS, MULTIWALLED-CARBON-NANOTUBE
<i>QUANTUM-DOT</i>	425	QUANTUM-DOT, NANOCRYSTALS, FLUORESCENCE, LUMINESCENCE, COLLOIDS, CADMIUM-COMPOUNDS, OPTICAL-WAVEGUIDES, SULFIDE
<i>RAMAN-SCATERING</i>	202	SUBSTRATES, RAMAN-SCATTERING, RAMAN-SPECTROMETRY, SPECTRUM-ANALYSIS,-RAMAN
<i>LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES</i>	239	LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES, SYSTEM-STABILITY, LYAPUNOV-FUNCTIONS, SUFFICIENT-CONDITIONS, FEEDBACK, CONTINUOUS-TIME-SYSTEMS, FEEDBACK-CONTROL, TIME-DELAY, LINEAR-CONTROL-SYSTEMS, STABILIZATION, DELAY-CONTROL-SYSTEMS, NUMERICAL-EXAMPLE, UNCERTAIN-SYSTEMS, NETWORKED-CONTROL-SYSTEMS, FUZZY-CONTROL
<i>BIOMATERIAL</i>	214	CYTOLOGY, BIOMATERIAL, BIOCOMPATIBILITY, BIOCOMPATIBLE-MATERIALS, TISSUE-ENGINEERING

Tabla 15. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2007-2011)

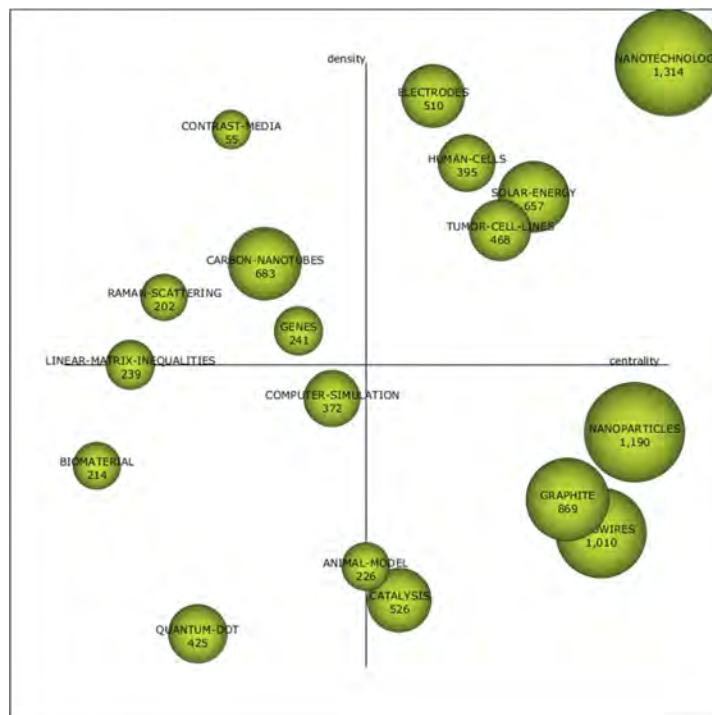


Figura 45. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2007-2011

<i>Tema</i>	<i>Centralidad</i>	<i>Rango de centralidad</i>	<i>Densidad</i>	<i>Rango de densidad</i>
<i>NANOTECHNOLOGY</i>	214.48	1	206.03	1
<i>NANOPARTICLES</i>	101.31	0.94	18.51	0.41
<i>NANOWIRES</i>	93.75	0.88	8.99	0.24
<i>GRAPHITE</i>	60.05	0.82	15.63	0.29
<i>SOLAR-ENERGY</i>	58.55	0.76	34.61	0.82
<i>TUMOR-CELL-LINES</i>	56.06	0.71	27.14	0.76
<i>HUMAN-CELLS</i>	46.93	0.65	37.79	0.88
<i>ELECTRODES</i>	41.14	0.59	53.81	0.94
<i>CATALYSIS</i>	24.78	0.53	6.46	0.12
<i>ANIMAL-MODEL</i>	22.86	0.47	8.68	0.18
<i>COMPUTER-SIMULATION</i>	20.28	0.41	19.24	0.47
<i>GENES</i>	17.68	0.35	21.51	0.59
<i>CARBON-NANOTUBES</i>	13.78	0.29	26.53	0.71
<i>QUANTUM-DOT</i>	10.93	0.24	6.31	0.06
<i>RAMAN-SCATTERING</i>	10.72	0.18	25.83	0.65
<i>LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES</i>	9.52	0.12	19.88	0.53
<i>BIOMATERIAL</i>	8.24	0.06	18.06	0.35

Tabla 16. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2007-2011

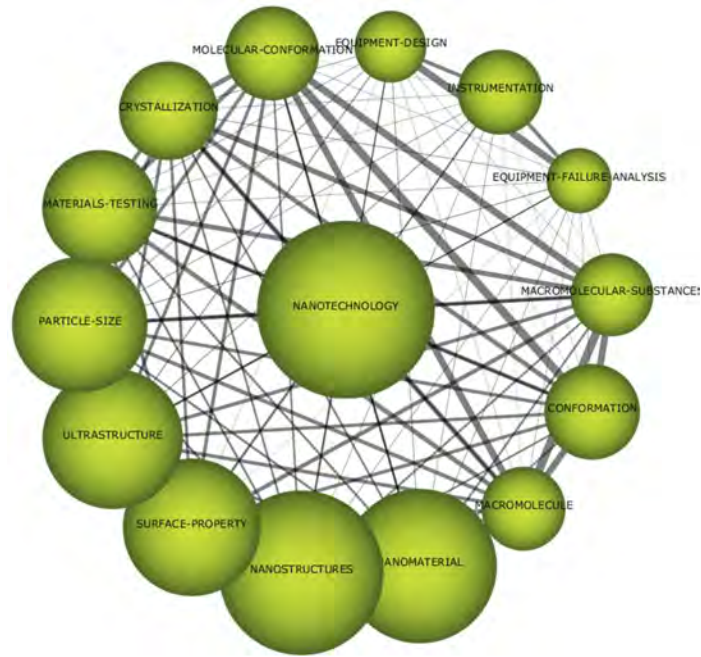


Figura 46. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2007-2011)

Para contextualizar estas relaciones tenemos el artículo de Pan et al. (2007) sobre la citotoxicidad dependiente del tamaño de las nano partículas de oro, muy usadas en imágenes biomédicas y en pruebas de diagnóstico. Por otro lado tenemos un ejemplo de aplicación de la nanotecnología a nivel de estructuras celulares (ultra estructura) como el artículo de Choi et al. (2007) sobre el transporte de nano partículas terapéuticas al interior de tumores sin la asistencia de anticuerpos.

El tema **SOLAR-ENERGY** tiene relaciones externas con *NANOTECHNOLOGY*, *ELECTRODES*, *NANOWIRES*, *GRAPHITE*, *NANOPARTICLES*, *CARBON-NANOTUBES*, *QUANTUM-DOT* y *TUMOR-CELL-LINES*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *SOLAR-CELLS*, *CONVERSION-EFFICIENCY*, *POWER-SUPPLY* y *ORGANIC-SOLAR-CELL* (fig. 47). Por las relaciones externas de este tema, se podría decir que la nanotecnología, en general, tiene una importante relación con el tema energético.

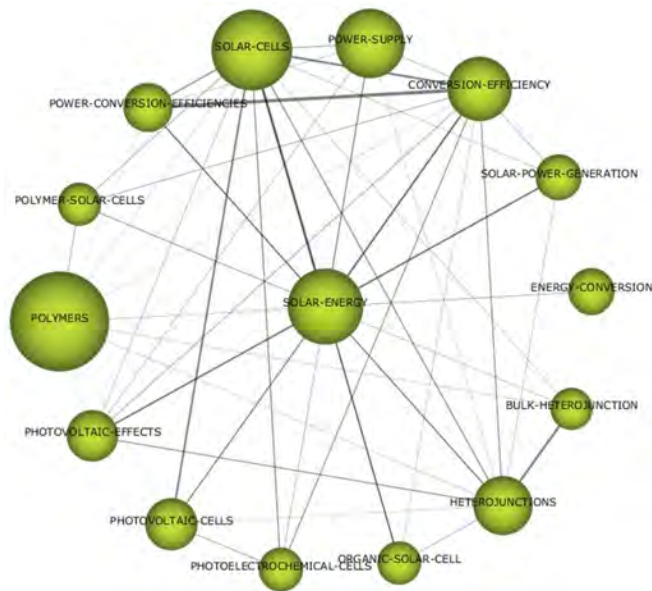


Figura 47. Mundial: tema SOLAR-ENERGY (2007-2011)

Un muy buen ejemplo que incluye casi todos los términos con los que tiene más fuertes relaciones internas, así como su relación con la nanotecnología es el artículo de Yu, Li, Zhang, Hu y Pei (2011) sobre electrodos compuestos de polímero de nanocables de plata para células solares eficientes.

El tema **TUMOR-CELL-LINES** tiene relaciones externas con *NANOPARTICLES*, *HUMAN-CELLS*, *BIOMATERIAL*, *NANOTECHNOLOGY*, *QUANTUM-DOT*, *CARBON-NANOTUBES* y *SOLAR-ENERGY*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *PATHOLOGY*, *CANCER-CELLS*, *TUMORS* y *METABOLISM* (fig. 48). Los artículos citados de Pan et al. (2007) y Choi et al. (2007) en el tema *NANOTECHNOLOGY* líneas arriba para el presente quinquenio calzan perfectamente en este tema.

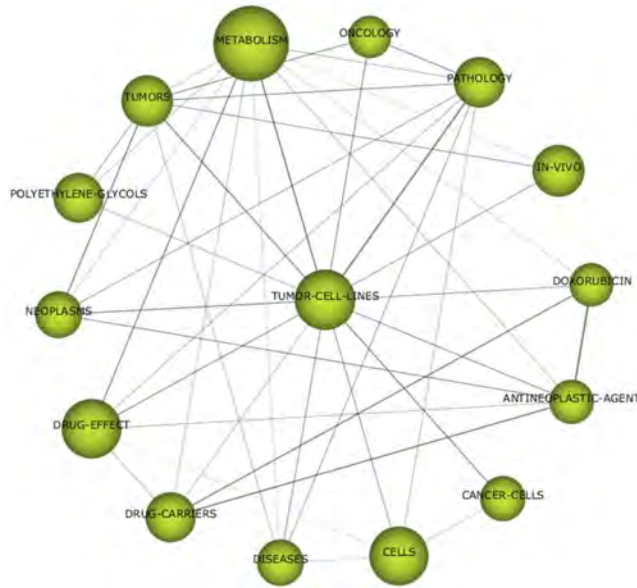


Figura 48. Mundial: tema TUMOR-CELL-LINES (2007-2011)

El tema **HUMAN-CELLS** tiene relaciones externas con *GENES*, *ANIMAL-MODEL*, *BIOMATERIAL*, *TUMOR-CELL-LINES* y *NANOPARTICLES* (fig. 49).

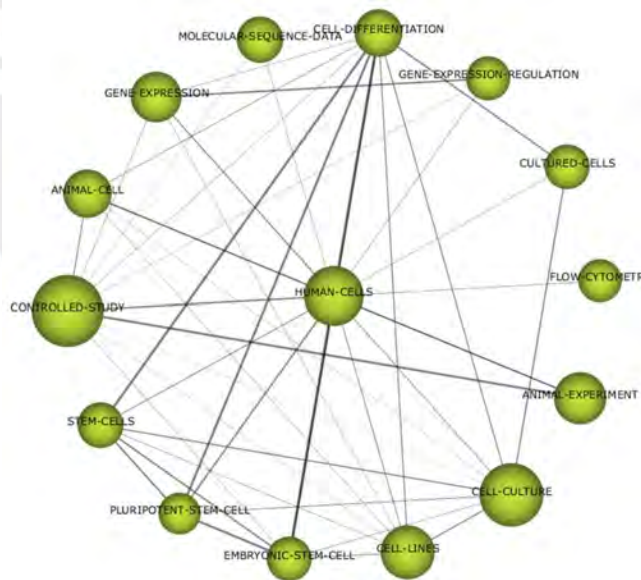


Figura 49. Mundial: tema HUMAN-CELLS (2007-2011)

Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *EMBRYONIC-STEM-CELL*, *PLURIPOTENT-STEM-CELL*, *CONTROLLED-STUDY* y *CELL-DIFFERENTIATION*.

Un excelente ejemplo que ayuda a contextualizar este tema en el campo de la ingeniería

genética es el artículo sobre células del músculo cardíaco derivadas de células madre embrionarias humanas para mejorar la función cardíaca de ratas infartadas, de Laflamme et al. (2007).

El tema **ELECTRODES** tiene relaciones externas con *SOLAR-ENERGY*, *NANOTECHNOLOGY*, *NANOWIRES*, *GRAPHITE*, *CARBON-NANOTUBES* y *NANOPARTICLES*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *LITHIUM*, *LITHIUM-ION-BATTERIES*, *LITHIUM-BATTERIES* y *LITHIUM-COMPOUNDS* (fig. 50).

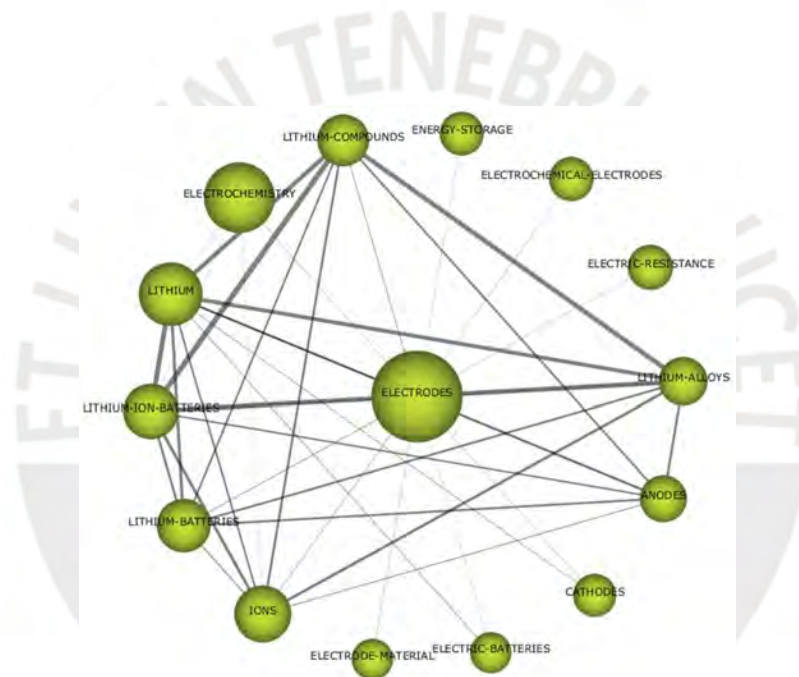


Figura 50. Mundial: tema ELECTRODES (2007-2011)

Por la terminología encontrada en sus relaciones externas, en este caso también se podría decir que la nanotecnología, en general, tiene una importante relación con el tema energético, especialmente en las baterías de iones de litio, muy usadas en los dispositivos móviles, en los cuales se busca mejoras a nivel de capacidad de carga y ciclo de vida. Al respecto hay estudios como el de Teki et al. (2009) sobre ánodos de silicio nano estructurados para baterías recargables de iones litio.

En el cuadrante superior izquierdo se encuentran los temas especializados y secundarios: *GENES*, *CARBON-NANOTUBES*, *RAMAN-SCATTERING* y *LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES*, con cierto desarrollo, pero poco relacionados en el área para el quinquenio analizado, es decir, se trata de temas aislados.

El tema **GENES** tiene relaciones externas con *HUMAN-CELLS*, *NANOPARTICLES* y *NANOTECHNOLOGY*. Las relaciones internas más fuertes las tiene con los siguientes términos: *NUCLEIC-ACIDS*, *DNA* y *BASE-SEQUENCE* (fig. 51). Representa muy bien esta relación de términos, y su relación con la ingeniería genética, el artículo de Cho et al. (2009) sobre la arquitectura de la unidad de transcripción del genoma de la bacteria *escherichia coli*.

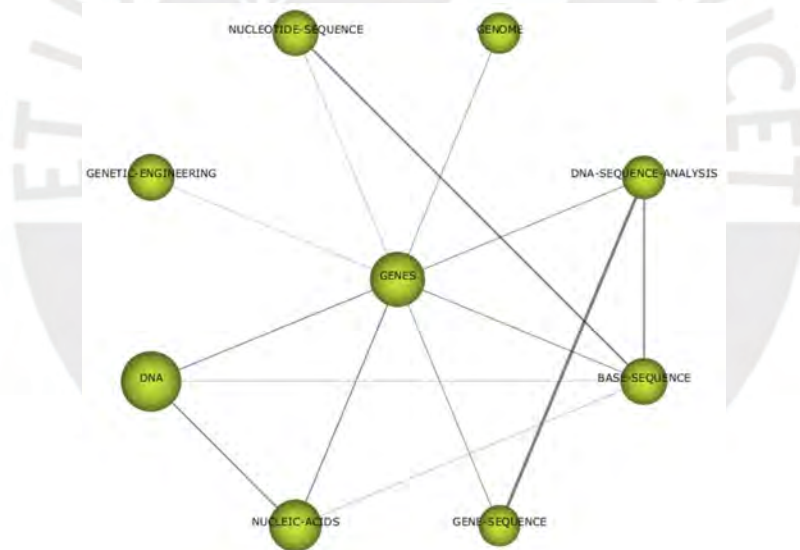


Figura 51. Mundial: tema GENES (2007-2011)

El tema **LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES** tiene relaciones externas con temas que no aparecen en el análisis realizado. Se trata de un tema aislado.

Las relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *LINEAR-CONTROL-SYSTEMS*, *UNCERTAIN-SYSTEMS*, *DELAY-CONTROL-SYSTEMS* y *FUZZY-CONTROL* (fig. 52). Aquí encontramos artículos como el de Zhao, Lam y Gao

(2009) sobre el problema de detección de fallas para sistemas difusos con mediciones intermitentes, un tema de la ingeniería de control y eléctrica.

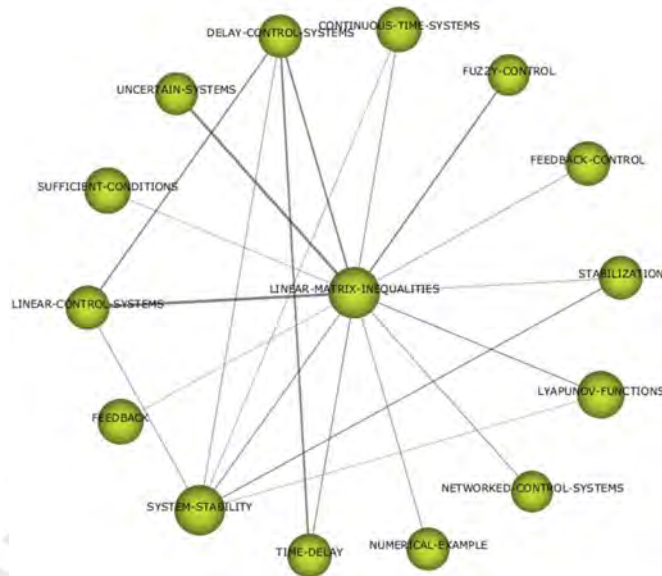


Figura 52. Mundial: tema LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES (2007-2011)

En el cuadrante inferior izquierdo se han detectado cuatro temas emergentes o que podrían desaparecer, y según los rangos de centralidad y de densidad, en orden de importancia son: *ANIMAL-MODEL*, *COMPUTER-SIMULATION*, *QUANTUM-DOT* y *BIOMATERIAL*.

El tema *ANIMAL-MODEL* tiene relaciones externas con *HUMAN-CELLS*, *NANOTECHNOLOGY* y *NANOPARTICLES*. Las relaciones internas más fuertes las tiene con los términos *ANIMAL-TISSUE* y *MUS* (fig. 53). El ejemplo a continuación reúne tanto a las estructuras externas como a los nodos internos y es un excelente ejemplo que demuestra cómo la nanotecnología ofrece un gran potencial para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades humanas, pero a la vez conlleva un problema importante por resolver: la toxicidad de las nanopartículas si no se eliminan de manera eficiente del cuerpo. Soo Choi et al. proponen una limpieza renal mediante la administración de puntos cuánticos (quantum dots) usando modelos animales (2007).

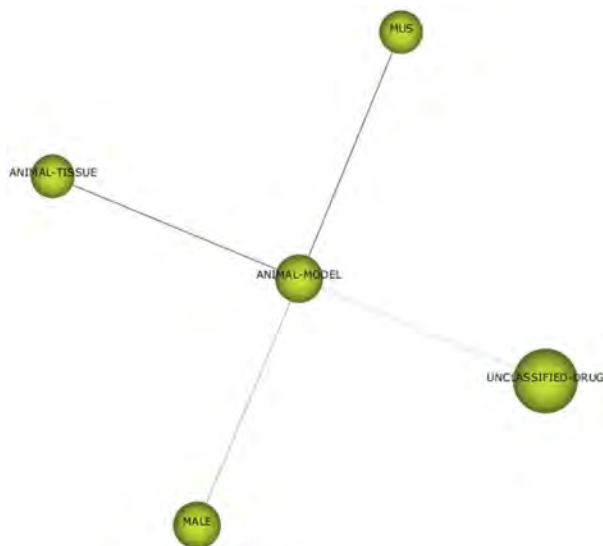


Figura 53. Mundial: tema ANIMAL-MODEL (2007-2011)

El tema **COMPUTER-SIMULATION** tiene relaciones externas con *NANOTECHNOLOGY*, *NANOWIRES*, *NANOPARTICLES* y *GRAPHITE* (fig. 54).

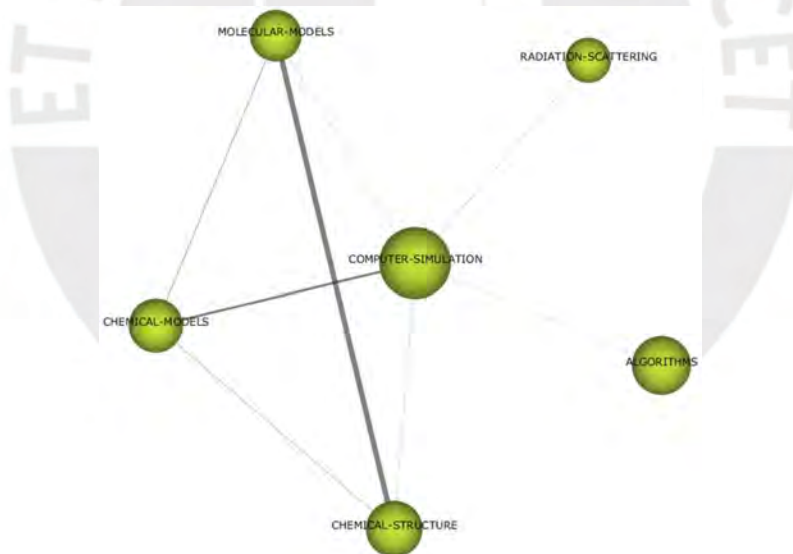


Figura 54. Mundial: tema COMPUTER-SIMULATION (2007-2011)

Las relaciones internas más fuertes las tiene con *CHEMICAL-MODELS* y *MOLECULAR-MODELS*. El uso de la simulación por computadora en el desarrollo de la nanotecnología se aprecia claramente en el artículo de Elfström et al. (2007), donde se reporta la fabricación de nanocables (*nanowires*) de silicio de distinto ancho para probar

el aumento de la sensibilidad a la carga eléctrica en nanocables más pequeños, lo que llegaron a confirmar con simulaciones por computadora. Este estudio es importante porque los nanocables son elementos prometedores para futuros biosensores que permiten la detección de electricidad directamente de las biomoléculas.

En el cuadrante inferior derecho se han detectado cuatro temas básicos y transversales: *NANOPARTICLES*, *NANOWIRES*, *GRAPHITE* y *CATALYSIS*. Estos temas están muy relacionados a la nanotecnología y resulta un buen ejemplo para resaltar su transversalidad en el quinquenio analizado: materiales (nano partículas, nanocables, grafito) y el uso de nanomateriales como catalizadores.

4.3.3 Mundial: quinquenio 2012 - 2016

En el tercer quinquenio (2012-2016), con 8218 documentos, se han detectado dieciséis temas. Los temas más estudiados son *ULTRAESTRUCTURE* (1735 documentos), *GRAPHENE* (1692 documentos), *NANOTECHNOLOGY* (1655 documentos), *METABOLISM* (1582 documentos), *ELECTRIC-BATTERIES* (1366 documentos), *MOLYBDENUM-COMPOUNDS* (1291 documentos), y *SOLAR-CELLS* (1091 documentos) (tabla 17).

Por su ubicación estratégica (fig. 55), los temas motores del quinquenio, según los rangos de centralidad y de densidad (tabla 18), son los siguientes: *METABOLISM*, *ULTRAESTRUCTURE*, *ELECTRIC-BATTERIES*, *TUMORS*, *CONTROLLED-STUDY* y *MOLYBDENUM-COMPOUNDS*.

El tema *METABOLISM* tiene relaciones externas con *TUMORS*, *CONTROLLED-STUDY*, *NANOTECHNOLOGY*, *ULTRAESTRUCTURE*, *PLASMONS*, *ELECTRIC-BATTERIES*, *QUANTUM-DOT*, *GRAPHENE* y *CARBON* (fig. 56).

<i>Temas</i>	<i># docs</i>	<i>nodos de la red temática</i>
<i>METABOLISM</i>	1582	NANOPARTICLES, PROCEDURES, METABOLISM, CYTOLOGY, CELL-LINES, CELLS, DRUG-EFFECT, GENETICS, CELL-CULTURE, PHYSIOLOGY, DRUG-CARRIERS, MACROGOL-DERIVATIVE, CELL-DEATH, BIOLOGICAL-TRANSPORT, TRANSPORT-AT-THE-CELLULAR-LEVEL
<i>ULTRASTRUCTURE</i>	1735	NANOSTRUCTURES, NANOMATERIAL, ULTRASTRUCTURE, PARTICLE-SIZE, GRAPHITE, SURFACE-PROPERTY, MATERIALS-TESTING, EQUIPMENT-DESIGN, CONFORMATION, EQUIPMENT-FAILURE-ANALYSIS, MOLECULAR-CONFORMATION, EQUIPMENT, CRYSTALLIZATION, MACROMOLECULE, MACROMOLECULAR-SUBSTANCES
<i>ELECTRIC-BATTERIES</i>	1366	ELECTRODES, LITHIUM, LITHIUM-ION-BATTERIES, ELECTRIC-BATTERIES, LITHIUM-BATTERIES, IONS, ANODES, LITHIUM-COMPOUNDS, SECONDARY-BATTERIES, LITHIUM-ALLOYS, CATHODES, SULFUR, SODIUM-ION-BATTERIES, LITHIUM-SULFUR-BATTERIES, CHARGING-(BATTERIES)
<i>TUMORS</i>	720	TUMOR-CELL-LINES, TUMORS, DISEASES, INFRARED-DEVICES, PATHOLOGY, FEMALE, POLYETHYLENE-GLYCOLS, NEOPLASMS, ANTINEOPLASTIC-AGENT, PHOTOTHERMAL-THERAPY, DOXORUBICIN, NUDE-MICE, MICE, -INBRED-BALB-C, BAGG-ALBINO-MOUSE
<i>NANOTECHNOLOGY</i>	1655	NANOTECHNOLOGY, METAL-NANOPARTICLES, TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY, SEMICONDUCTOR, POWER-SUPPLY, DEVICES, ELECTRONICS, GENETIC-PROCEDURES, NANOGENERATOR, INSTRUMENTATION, BIOSENSING-TECHNIQUES, ENERGY-HARVESTING, TRIBOELECTRIC-NANOGENERATOR, SELF-POWERED, TRIBOELECTRICITY
<i>GRAPHENE</i>	1692	GRAPHENE, SUPER-CAPACITORS, CAPACITORS, OXIDES, ELECTRIC-CONDUCTIVITY, DOPING-(ADDITIVES), ELECTROLYTIC-CAPACITORS, GRAPHENE-OXIDES, REDUCED-GRAPHENE-OXIDES, BORON-NITRIDE, VAPORS, HEXAGONAL-BORON-NITRIDE, GRAPHENE-SHEETS, GRAPHITE-ELECTRODES, NITROGEN-DOPED-GRAPHENE
<i>CONTROLLED-STUDY</i>	519	CONTROLLED-STUDY, UNCLASSIFIED-DRUG, GENES, HUMAN-CELLS, ANIMAL-EXPERIMENT, GENE-EXPRESSION, STEM-CELLS, ANIMAL-CELL, IN-VIVO-STUDY, IN-VITRO-STUDY, ANIMAL-MODEL, ANIMAL-TISSUE
<i>MOLYBDENUM-COMPOUNDS</i>	1291	MOLYBDENUM-COMPOUNDS, TRANSITION-METALS, MONOLAYERS, MOLYBDENUM-DISULFIDE, NANOSHEETS, FIELD-EFFECT-TRANSISTORS, TRANSITION-METAL-DICHALCOGENIDES, CHEMICAL-VAPOR-DEPOSITION, PHOTOLUMINESCENCE, MOLYBDENUM, TWO-DIMENSIONAL-MATERIALS, VAN-DER-WAALS-FORCES, TWO-DIMENSIONAL, HYDROGEN-EVOLUTION-REACTIONS, DISULFIDE CARBON, CARBON-NANOTUBES, ELECTROCHEMICAL-PERFORMANCE, ENERGY-STORAGE, YARN, POROUS-MATERIALS
<i>CARBON</i>	1004	
<i>SOLAR-CELLS</i>	1091	SOLAR-CELLS, PEROVSKITE, HETEROJUNCTIONS, SOLAR-ENERGY, EFFICIENCY, POWER-CONVERSION-EFFICIENCIES, PEROVSKITE-SOLAR-CELLS, PHOTOVOLTAICS, CONVERSION-EFFICIENCY, POLYMER-SOLAR-CELLS, SOLAR-POWER-GENERATION, ORGANIC-SOLAR-CELL, FULLERENES, DYE-SENSITIZED-SOLAR-CELLS, PHOTOVOLTAIC-PERFORMANCE
<i>ELECTROLYTIC-REDUCTION</i>	741	CATALYSIS, OXYGEN, CATALYSTS, ELECTROCATALYSTS, ELECTROLYTIC-REDUCTION, PLATINUM NITROGEN, CATALYST-ACTIVITY, OXYGEN-REDUCTION-REACTION, ELECTROCATALYSIS, FUEL-CELLS
<i>PLASMONS</i>	970	GOLD, PLASMONS, LIGHT, SILVER, NANORODS, SURFACE-PLASMON-RESONANCE, PLASMONICS, RESONANCE, GOLD-NANOROD, LOCALIZED-SURFACE-PLASMON-RESONANCE, SURFACE-PLASMONS
<i>QUANTUM-DOT</i>	910	QUANTUM-DOT, NANOCRYSTALS, PHOTONS, LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED), FLUORESCENCE, LUMINESCENCE, COLLOIDAL-QUANTUM-DOTS
<i>ENERGY-EFFICIENCY</i>	626	ENERGY-EFFICIENCY, OPTIMIZATION, CARBON-DIOXIDE, NUMERICAL-MODEL, ENERGY-UTILIZATION, ENERGY-CONSERVATION, BUILDINGS
<i>TITANIUM-DIOXIDE</i>	307	TITANIUM-DIOXIDE, TITANIUM, PHOTOCATALYSIS, TIO
<i>PHOTOSENSITIZING-AGENT</i>	78	PHOTODYNAMIC-THERAPY, PHOTOCHEMOTHERAPY, PHOTSENSITIZERS, PHOTSENSITIZING-AGENT

Tabla 17. Mundial: estructura interna de los temas detectados (2012-2016)

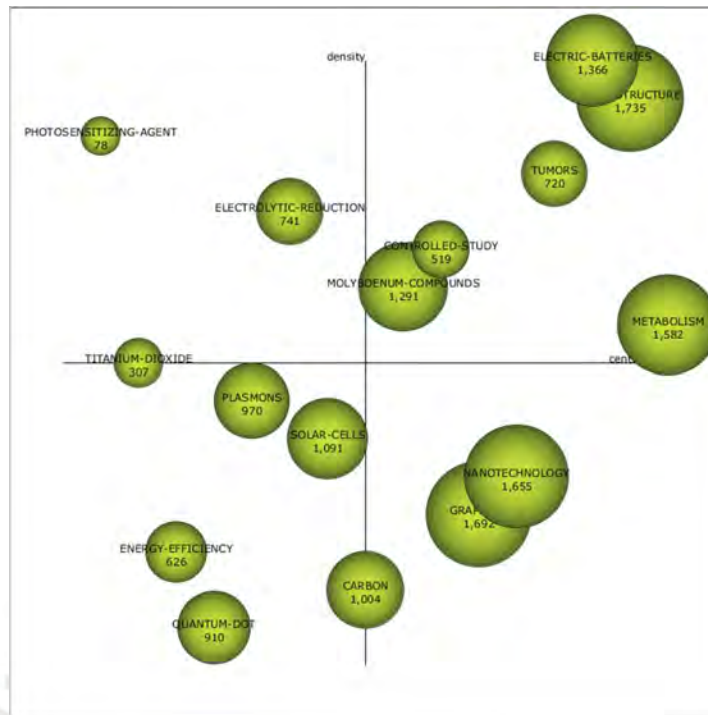


Figura 55. Mundial: diagrama estratégico del quinquenio 2012-2016

<i>Tema</i>	<i>Centralidad</i>	<i>Rango de centralidad</i>	<i>Densidad</i>	<i>Rango de densidad</i>
<i>METABOLISM</i>	86.39	1	25.66	0.56
<i>ULTRASTRUCTURE</i>	67.8	0.94	79.36	0.94
<i>ELECTRIC-BATTERIES</i>	66.78	0.88	87.1	1
<i>TUMORS</i>	52.73	0.81	36.95	0.81
<i>NANOTECHNOLOGY</i>	44.59	0.75	17.28	0.31
<i>GRAPHENE</i>	42.97	0.69	14.4	0.25
<i>CONTROLLED-STUDY</i>	29.26	0.62	32.6	0.69
<i>MOLYBDENUM-COMPOUNDS</i>	23.39	0.56	26.02	0.62
<i>CARBON</i>	22.25	0.5	8.67	0.12
<i>SOLAR-CELLS</i>	15.35	0.44	17.52	0.38
<i>ELECTROLYTIC-REDUCTION</i>	13.92	0.38	33.34	0.75
<i>PLASMONS</i>	12.97	0.31	19.61	0.44
<i>QUANTUM-DOT</i>	12.39	0.25	5.53	0.06
<i>ENERGY-EFFICIENCY</i>	4.02	0.19	9.96	0.19
<i>TITANIUM-DIOXIDE</i>	2.08	0.12	21.87	0.5
<i>PHOTOSENSITIZING-AGENT</i>	0.22	0.06	61.36	0.88

Tabla 18. Mundial: rangos de centralidad y densidad para el quinquenio 2012-2016

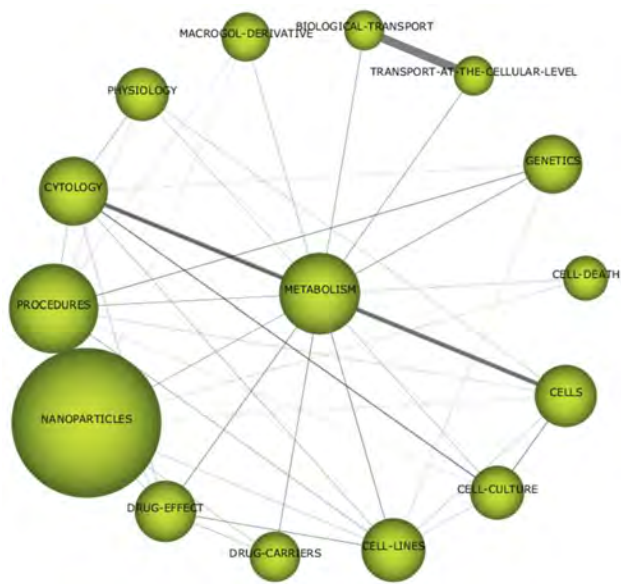


Figura 56. Mundial: tema METABOLISM (2012-2016)

Las relaciones internas más fuertes las tiene con *CELL-LINES*, *DRUG-EFFECT*, *CYTOLOGY* y *DRUG-CARRIERS*, aunque los demás términos de su estructura interna ayudan a entender mejor cuál es la orientación de las investigaciones que los comparten en su descripción temática. Es importante en rol del metabolismo como mecanismo de eliminación de fármacos del cuerpo (Shuhendler, Pu, Cui, Utrecht, & Rao, 2014) o en el estrés metabólico en terapias anti cáncer con radiación (Kong et al., 2008).

El tema ***ULTRASTRUCTURE*** tiene relaciones externas con *NANOTECHNOLOGY*, *GRAPHENE*, *METABOLISM*, *ELECTRIC-BATTERIES*, *MOLYBDENUM-COMPOUNDS*, *TUMORS*, *SOLAR-CELLS* y *CARBON*. Las relaciones internas más fuertes las tiene con *PARTICLE-SIZE*, *MATERIALS-TESTING* y *NANOMATERIAL* (fig. 57). El término ultra estructura se refiere a la estructura celular y pertenece, en esencia, a la biología. Su vinculación con la nanotecnología tendría que ver con algunos métodos biológicos que se emplean en este campo para sintetizar materiales inorgánicos con ayuda de material biológico. Una aplicación práctica se puede apreciar

en el artículo de Wang et al. (2012) donde se presenta un modelo de auto ensamblaje de colágeno con capacidad para imitar la estructura del tejido óseo.

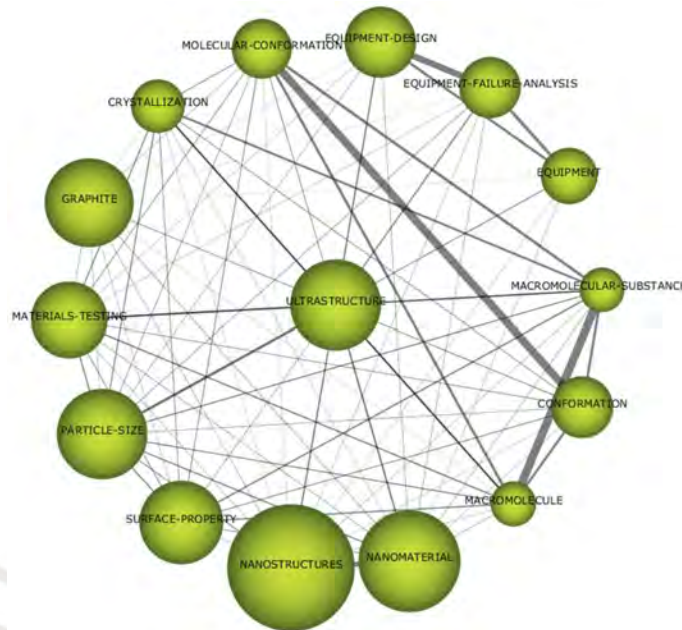


Figura 57. Mundial: tema ULTRASTRUCTURE (2012-2016)

El tema ***ELECTRIC-BATTERIES*** tiene relaciones externas con *CARBON*, *ULTRAESTRUCTURE*, *GRAPHENE*, *NANOTECHNOLOGY*, *MOLYBDENUM-COMPOUNDS*, *METABOLISM*, *ELECTROLYTIC-REDUCTION*, *SOLAR-CELLS* y *TITANIUM-DIOXIDE*. Las relaciones internas más fuertes las tiene con *SECONDARY-BATTERIES*, *LITHIUM*, *LITHIUM-ALLOYS*, *LITHIUM-COMPOUNDS* y *IONS* (fig. 58). Tal como lo manifiestan Kim et al. (2015), los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo para crear baterías secundarias (recargables) de litio con densidades de energía más altas con un gran progreso; sin embargo, todavía hay una creciente demanda de baterías recargables más livianas y pequeñas para dispositivos electrónicos portátiles. Por otro lado, las crecientes preocupaciones ambientales sobre el calentamiento global estimulan el interés por desarrollar baterías secundarias de litio a gran escala con alta densidad de energía para uso en vehículos eléctricos. Hassoun et al. (2014) presentan una

batería avanzada de iones de litio basada en un ánodo de tinta de grafeno y un cátodo de fosfato de litio y hierro y creen que los resultados de su trabajo pueden abrir nuevas oportunidades para la explotación del grafeno en el desarrollo de las baterías de iones de litio. Por su lado, Mi, Buja, Choi y Rim (2016) nos resumen en su artículo los últimos avances en los sistemas inalámbricos de transferencia de energía desde las carreteras hacia los vehículos eléctricos.

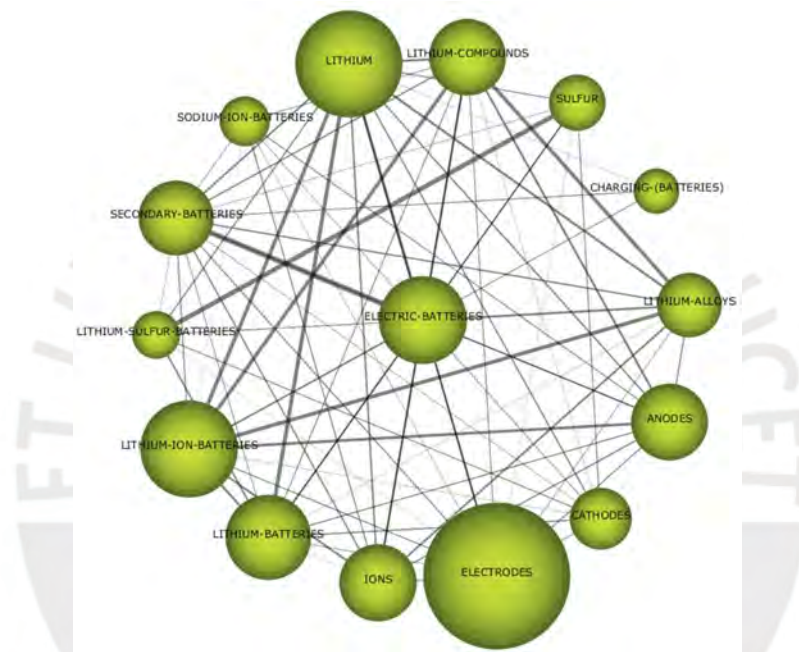


Figura 58. Mundial: tema ELECTRIC-BATTERIES (2012-2016)

El tema **TUMORS** tiene relaciones externas con *METABOLISM*, *CONTROLLED-STUDY*, *ULTRASTRUCTURE*, *NANOTECHNOLOGY* y *PLASMONS*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *TUMOR-CELL-LINES*, *DISEASES* y *PATHOLOGY* (fig. 59). Se observa en los artículos propuestas de nuevas terapias para el tratamiento de tumores y cáncer, como la terapia fototérmica guiada por imágenes con nanotubos de carbono para la inhibición de la metástasis tumoral con buenos resultados en ratones (Liang et al., 2014), o la disrupción vascular de un tumor mediado por nanopartículas como una nueva estrategia en radioterapia (Kunjachan et al., 2015).

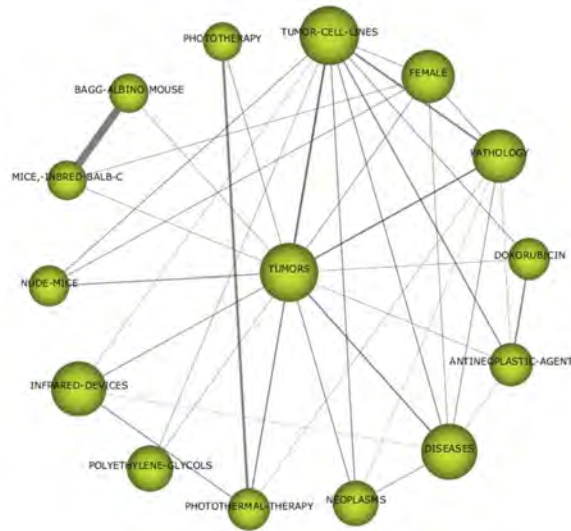


Figura 59. Mundial: tema TUMORS (2012-2016)

El tema **CONTROLLED-STUDY** tiene relaciones externas solo con *METABOLISM* y *TUMORS*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *ANIMAL-EXPERIMENT*, *HUMAN-CELLS*, *ANIMAL-MODEL* y *ANIMAL-CELL* (fig. 60). Los ejemplos ya indicados para los temas *METABOLISM* y *TUMORS* son estudios controlados.



Figura 60. Mundial: tema CONTROLLED-STUDY (2012-2016)

El tema **MOLYBDENUM-COMPOUNDS** tiene relaciones externas con *ELECTROLYTIC-REDUCTION*, *GRAPHENE*, *SOLAR-CELLS*, *ULTRASTRUCTURE*, *QUANTUM-DOT*, *NANOTECHNOLOGY*, *ELECTRIC-BATTERIES* y *CARBON*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *MOLYBDENUM-DISULFIDE*, *MOLYBDENUM* y *TRANSITION-METAL-DICHALCOGENIDES* (fig. 61). Se aprecia una gran cantidad de artículos donde se usan compuestos de molibdeno como catalizadores para la producción de hidrógeno (S. Chen, Duan, Tang, Jin, & Zhang Qiao, 2015; P. D. Tran et al., 2016).

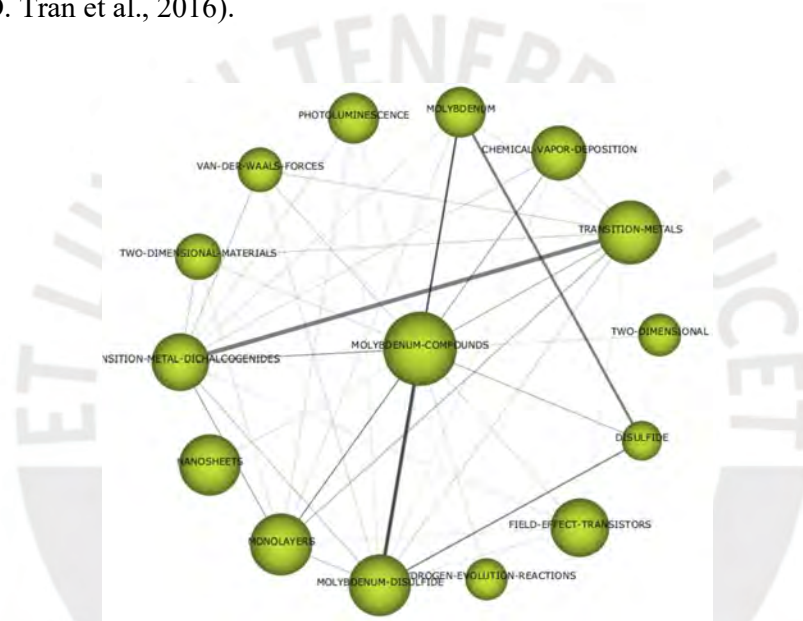


Figura 61. Mundial: tema MOLYBDENUM-COMPOUNDS (2012-2016)

En el cuadrante superior izquierdo se encuentran los temas especializados y secundarios: *PHOTOSENSITIZING-AGENT*, *ELECTROLYTIC-REDUCTION*, y *TITANIUM-DIOXIDE* con cierto desarrollo, pero poco relacionados en el área para el quinquenio analizado. Aunque el último, por su rango de densidad (0.50) se encuentra exactamente entre el cuadrante superior izquierdo y el inferior izquierdo, entre ser un tema secundario y un tema emergente o por desaparecer.

El tema **PHOTOSENSITIZING-AGENT** solo tiene relación externa con **METABOLISM**. Sus relaciones internas las tiene con **PHOTOCHEMOTHERAPY**, **PHOTOSENSITIZERS** y **PHOTODYNAMIC-THERAPY** (fig. 62). Aquí se encuentra una cantidad importante de artículos sobre nuevas terapias para combatir el cáncer y tumores mediante fotosensibilizadores como los de H. Chen at al. (2015) y Seidl et al. (2016), e.g.

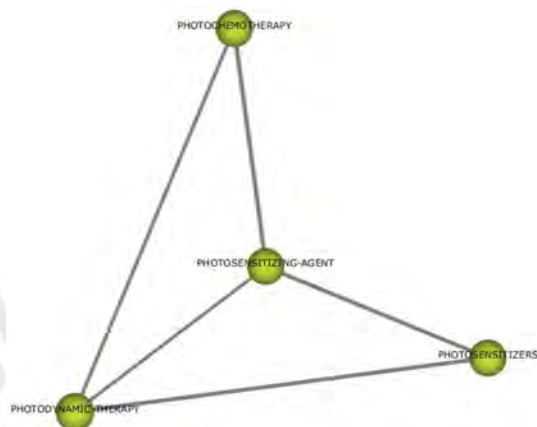


Figura 62. Mundial: tema PHOTOSENSITIZING-AGENT (2012-2016)

El tema **ELECTROLYTIC-REDUCTION** tiene relaciones externas con **GRAPHENE**, **MOLYBDENUM-COMPOUNDS**, **METABOLISM**, **ULTRASTRUCTURE**, **ELECTRIC-BATTERIES**, **CARBON** y **TITANIUM-DIOXIDE** (fig. 63).

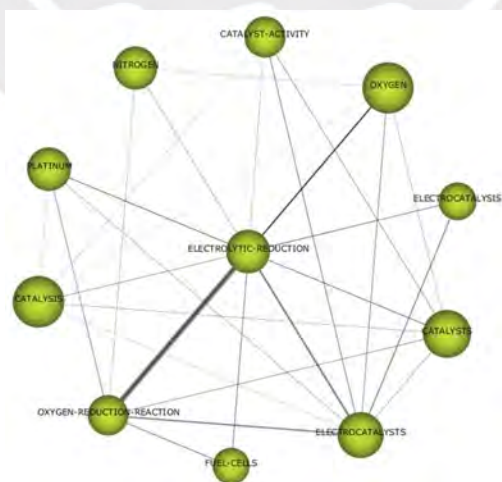


Figura 63. Mundial: Tema ELECTROLYTIC-REDUCTION (2012-2016)

Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *OXYGEN-REDUCTION-REACTION*, *ELECTROCATALYSTS* y *OXIGEN*.

El tema *TITANIUM-DIOXIDE* tiene relaciones externas con *ELECTROLYTIC-REDUCTION*, *PLASMONS* y *GRAPHENE*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *PHOTOCATALYSIS*, *PHOTOCATALYSIS* y *TIO* (fig. 64).

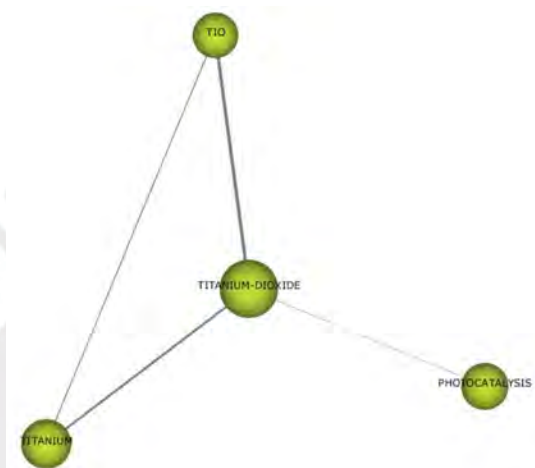


Figura 64. Mundial: tema TITANIUM-DIOXIDE (2012-2016)

En el cuadrante inferior izquierdo se han detectado cuatro temas emergentes o que podrían desaparecer, y según los rangos de centralidad y de densidad, los temas aparecen en el siguiente orden: *PLASMONS*, *SOLAR-CELLS*, *ENERGY-EFFICIENCY* y *QUANTUM-DOT*. Por su rango de centralidad (0.50) hay un tema que está exactamente entre este cuadrante y el inferior derecho, entre ser un tema secundario y un tema básico y transversal: *CARBON*.

En el cuadrante inferior derecho se han detectado dos temas básicos y transversales: *NANOTECHNOLOGY* y *GRAPHENE*, ambos muy relacionados a la nanotecnología.

El tema *NANOTECHNOLOGY* tiene relaciones externas con *ULTRASTRUCURE*, *ELECTRIC-BATTERIES*, *PLASMONS*, *METABOLISM*, *SOLAR-*

CELLS, GRAPHENE, MOLYBDENUM-COMPOUND, TUMORS y ELECTROLYTIC-REDUCTION y CARBON. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con NANOGENERATOR, TRIBOELECTRIC-NANOGENERATOR, TRIBOELECTRICITY y ENERGY-HARVESTING (fig. 65).

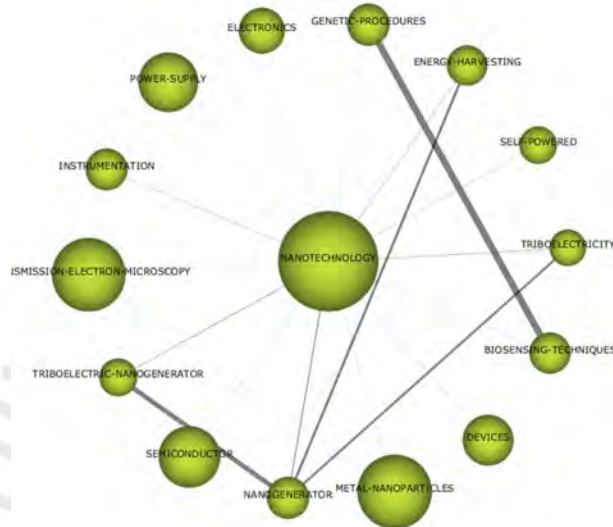


Figura 65. Mundial: tema NANOTECHNOLOGY (2011-2016)

Dentro de la nanotecnología aparecen estos conceptos con más fuerza a partir de este último quinquenio. Para poner en contexto esto, citamos un artículo sobre los nanogeneradores triboeléctricos basados en la piel humana que presenta un sistema de sensor táctil activo que genera su propia energía con potencial aplicación en interfaces hombre-máquina, sistemas micro/nanoelectromecánicos y tecnología de pantalla táctil (Yang et al., 2013). En otro se resalta la recolección de energía biomecánica en organismos vivientes como una ruta importante para obtener energía eléctrica sostenible para alimentar dispositivos médicos implantables como el monitoreo cardíaco inalámbrico que genera electricidad continuamente en vivo a través de un nanogenerador triboeléctrico (Zheng et al., 2016).

El tema **GRAPHENE** tiene relaciones externas con *ULTRASTRUCURE*, *ELECTROLYTIC-REDUCTION*, *ELECTRIC-BATTERIES*, *MOLYBDENUM-COMPOUND*, *CARBON*, *NANOTECHNOLOGY*, *TITANIUM-DIOXIDE*, *QUANTUM-DOT*, *SOLAR-CELLS*, y *METABOLISM*. Sus relaciones internas más fuertes las tiene con *GRAPHENE-OXIDES*, *REDUCED-GRAPHENE-OXIDES*, y *GRAPHENE-SHEETS*; aunque las relaciones más fuertes se dan entre los nodos periféricos *HEXAGONAL-BORON-NITRIDE* y *BORON-NITRIDE*; y entre los nodos *ELECTROLYTIC-CAPACITATORS* y *SUPER-CAPACITATORS* (fig. 66).

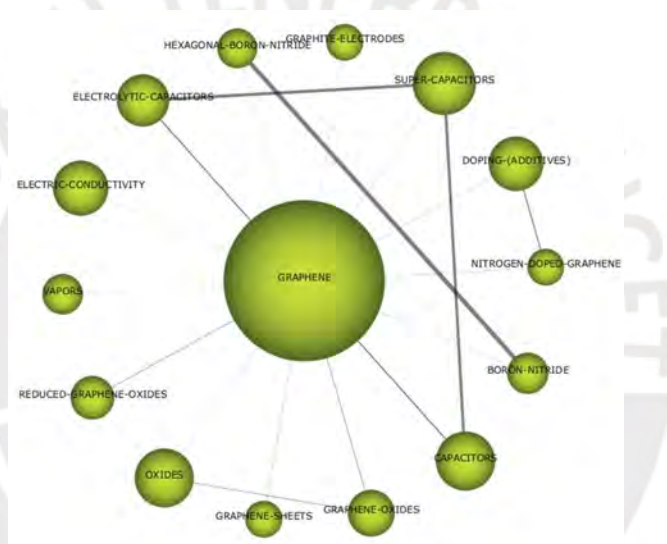


Figura 66. Mundial: tema GRAPHENE (2011-2016)

Entre las múltiples aplicaciones del grafeno, resaltan las de aplicación biomédica como en el artículo de Tu (2013) , donde se demostró que el grafeno tiene actividad antibacteriana en *Escherichia coli*. Por otro lado, el grafeno, en su forma de papel estructurado plegado, ofrece una gran capacidad de almacenamiento de energía, con un gran potencial de ser usado en dispositivos portátiles o enrollables, según el método que describen F. Liu, Song, Xue, y Zhang (2012) en su artículo.

4.4 Mundial: análisis del mapa evolutivo 2002 - 2016

Para el caso mundial, por la cantidad de temas detectados, y por las relaciones que tienen entre sí, se ha clasificado los resultados en las siguientes categorías y respectivos colores (fig. 67):

- Nanotecnología (rojo)
- Biotecnología (celeste)
- Tecnología energética (verde)
- Ingeniería de control (amarillo)
- Ingeniería informática (azul)

El tema *NANOTECHNOLOGY* es el más estudiado en los tres quinquenios de manera consecutiva. Entre el primer y el segundo quinquenios, hay una relación de similitud bastante baja con otras estructuras temáticas llamadas *NANOWIRES* y *NANOPARTICLES*. Entre el segundo y tercer quinquenio, *NANOTECHNOLOGY* evoluciona a una estructura llamada *NANOTECHNOLOGY* y a otra llamada *ULTRASTRUCTURE*, con la cual comparte una parte significativa del nexo conceptual (Fig. 67). El término *ULTRASTRUCTURE* está muy relacionado al área de la biología. Esto coincide con la progresiva orientación de la nanotecnología a aplicaciones biomédicas, y que ha dado origen a lo que se conoce como *nanomedicina* (Malatesta 2016).

La estructura temática *NANOTECHNOLOGY* del quinquenio 2012-2016, solo comparte un nodo con la estructura del mismo nombre del quinquenio anterior, pero incorpora nuevos términos que vienen de investigaciones sobre electrónica y generación de energía.

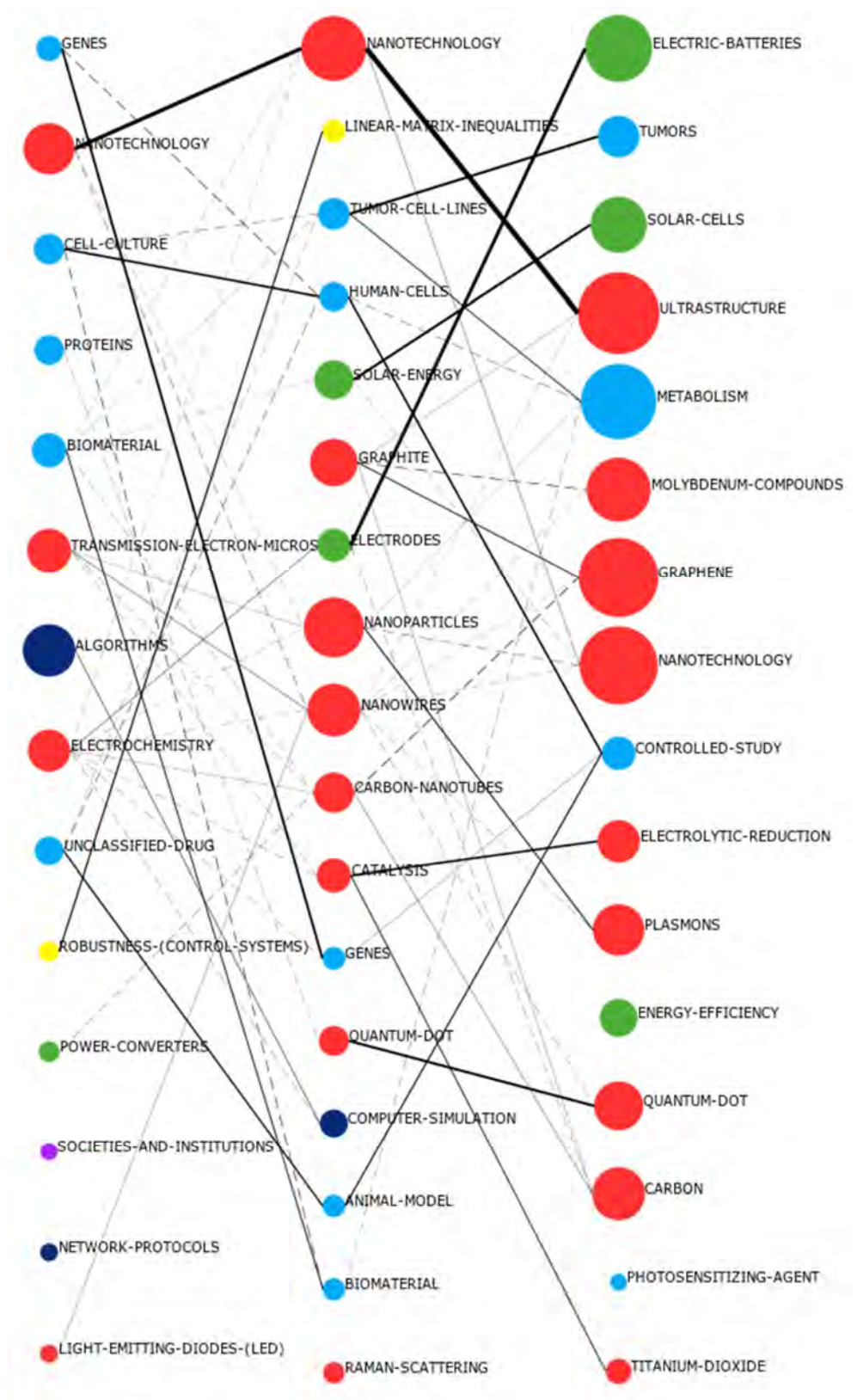


Figura 67. Mundial: Mapa evolutivo del periodo 2002-2016

Resulta interesante que a lo largo de los tres quinquenios han surgidos temas muy ligados al campo de la nanotecnología, llegando a formar estructuras independientes. En la figura 67 se ha coloreado las esferas de color rojo aquellas que están estrechamente relacionadas con la nanotecnología. Teniendo en cuenta el nombre de la estructura temática, en el primer quinquenio, el 21% de los temas detectados están relacionado a la nanotecnología. En el segundo y el tercero, 44% y 56% respectivamente.

El segundo grupo de temas detectados están ligados a la biotecnología. Aquí tenemos cuatro casos importantes de evolución: *GENES* deriva en dos estructuras temáticas en el segundo quinquenio: *GENES* y *HUMAN-CELLS*. Para el tercer quinquenio, ambos por separado derivan en la estructura *CONTROLLED-STUDY*. *HUMAN-CELLS* deriva o evoluciona además a *METABOLISM*.

CELL-CULTURE (primer quinquenio) deriva en tres estructuras: *TUMOR-CELL-LINES*, *HUMAN-CELLS* y aporta a *BIOMATERIAL* (segundo quinquenio), siendo este último un importante caso de evolución a resaltar en el presente estudio ya que viene desde el primer quinquenio, se mantiene en el segundo, y deriva en el tercero con un aporte relativamente débil a *METABOLISM*. *TUMOR-CELL-LINES* evoluciona a *TUMORS* y *METABOLISM* en el tercer quinquenio.

UNCLASSIFIED-DRUG evoluciona a *ANIMAL-MODEL* en el segundo quinquenio; y éste, a *CONTROLLED-STUDY* en el tercer quinquenio. Es importante resaltar que *UNCLASSIFIED-DRUG* aporta también a *NANOTECHNOLOGY* en el segundo quinquenio, así como también a *HUMAN-CELLS*.

En el ámbito de la tecnología energética, solo surge en el primer quinquenio *POWER-CONVERTERS* y muestra una evolución hacia *CARBON-NANOTUBES*. En el segundo quinquenio surge el tema *SOLAR-ENERGY* (derivado de *BIOMATERIAL*) y

evoluciona a *SOLAR-CELLS* y a *NANOTECHNOLOGY* en el tercer quinquenio. También surge en el segundo quinquenio el tema *ELECTRODES* (derivado de *ELECTROCHEMISTRY*) y evoluciona en el tercer quinquenio a *ELECTRIC-BATERIES* y a *CARBON*. De manera aislada surge el tema *ENERGY-EFFICIENCY* en el tercer quinquenio.

En el ámbito de la ingeniería de control tenemos a *ROBUSTNESS-(CONTROL-SYSTEMS)* que surge en el primer quinquenio y evoluciona *LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES* en el segundo quinquenio.

Finalmente, en el ámbito de la ingeniería informática, tenemos una única evolución importante: *ALGORITHMS* evoluciona a *COMPUTER-SIMULATION* en el segundo quinquenio, aunque este último también recibe aportes de *ELECTROCHEMISTRY*.

Las relaciones de los temas detectados entre quinquenio y quinquenio son más fuertes y estables. Esto se puede explicar con la figura 68, donde se aprecia que el número de palabras clave que conforman el corpus de cada quinquenio tienen índices de similitud considerables: 0.45 del primer al segundo quinquenio, y 0.7 del segundo al tercer quinquenio.

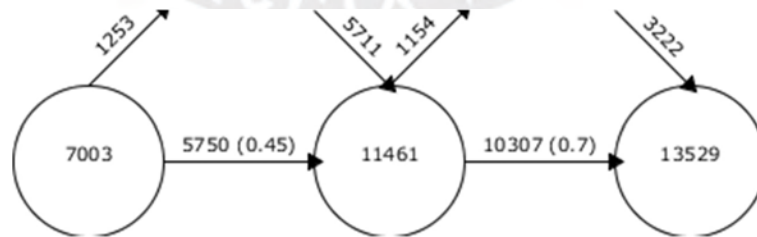


Figura 68. Mundial: grados de similitud entre quinquenios

4.5 Comparación entre el caso peruano y el caso mundial en el campo científico de la ingeniería

Los resultados obtenidos del análisis realizado dan cuenta de diferencias muy notorias entre el caso peruano y el caso mundial. A continuación, realizaremos las comparaciones para cada quinquenio apoyados en la figura 71.

En el quinquenio 2002-2006, a nivel mundial se detectaron catorce temas, mientras que para el caso peruano solo se detectaron seis, de los cuales claramente solo dos fueron motores frente a los seis que han resultado del análisis de las publicaciones más prestigiosas de ingeniería a nivel mundial: *NANOTECHNOLOGY*, *CELL-CULTURE*, *GENES*, *UNCLASSIFIED-DRUG*, *PROTEIN* y *BIOMATERIALS*. Aunque la mayoría de conceptos pueden circunscribirse al campo biotecnológico, las relaciones que muestra el tema *NANOTECHNOLOGY* (el mejor ubicado en el diagrama estratégico) con ellas indicarían un alto grado de uso de nanotecnología en beneficio del desarrollo biotecnológico en los estudios del quinquenio analizado. En el caso peruano, los temas mejor ubicados estratégicamente fueron: *PRESSURE-EFFECTS* y *ENVIRONMENTAL-IMPACT*, el primero relacionado a la ingeniería de materiales; el segundo, básicamente a la minería. Los temas más desarrollados y conectados para el caso peruano y mundial no tienen relación entre ellos, aun revisando la estructura interna no se ha encontrado elementos de coincidencia. El tema *COST*, relacionado básicamente a temas ambientales, probablemente perteneció al cuadrante de los temas motores, ya que se encuentra entre el primer y segundo cuadrantes. Sin embargo, no podríamos decir lo mismo para el tema *PRECIPITATION-(CHEMICAL)* que más se aproxima al tercer cuadrante, como un tema a punto de desaparecer o emergente, y a pesar que es un concepto que se podría asociar a la nanotecnología, no se ha encontrado ningún índice de similitud con alguna estructura del ámbito mundial. Estos dos últimos temas no tienen

relación con el encontrado para el caso mundial en el mismo cuadrante, donde hay claramente un único tema como secundario o aislado: ***SOCIETIES-AND-INSTITUTIONS***, vinculado a la gestión de la ciencia, tecnología e innovación, ni tampoco con el tema del área de la ingeniería energética que se ubica entre el segundo y tercer cuadrantes: ***POWER-CONVERTERS***. En el tercer cuadrante encontramos temas de las áreas de ingeniería de control (***ROBUSTNESS-CONTROL-(SYSTEMS)***), ingeniería informática (***NETWORK-PROTOCOLS*** y ***ALGORITHMS***), y nanotecnología (***LIGHT-EMITTING-DIODES-(LED)***). ***TRANSMISSION-ELECTRON-MICROSCOPY***, un tema también del campo de la nanotecnología, se encuentra entre el tercer y cuarto cuadrantes. Ninguno de los últimos temas mencionados en el tercer cuadrante del caso mundial se relacionan con el único tema del caso peruano en ese cuadrante: ***EARTHQUAKE***, relacionado a la ingeniería sísmica. En el grupo de los temas transversales (cuarto cuadrante) también encontramos otro tema relacionado, en este contexto, al área de la nanotecnología: ***ELECTROCHEMISTRY***, el cual tampoco guarda relación con ***MATHEMATICAL-MODELS*** del caso peruano en el mismo cuadrante en el quinquenio 2002-2006.

En el quinquenio 2007-2011, a nivel mundial se detectaron diecisiete temas frente a solo cinco para el caso peruano. En el cuadrante de los temas motores para el caso mundial surgieron: ***NANOTECHNOLOGY***, ***SOLAR-ENERGY***, ***TUMOR-CELL-LINES***, ***HUMAN-CELLS*** y ***ELECTRODES***. Aquí tenemos dos grandes campos representados: biotecnología (***TUMOR-CELL-LINES*** y ***HUMAN-CELLS***) y tecnología energética (***SOLAR-ENERGY*** y ***ELECTRODES***), ambas relacionadas con ***NANOTECHNOLOGY***, la estructura temática mejor ubicada en el diagrama estratégico para el quinquenio en cuestión. Esto indicaría el alto grado de uso de la nanotecnología en la biotecnología y en la tecnología energética. Para el caso peruano tenemos los

siguientes temas mejor ubicados estratégicamente: **CONTROL-SYSTEMS**, **GEOLOGICAL-SURVEYS** y **ZINC-SULFIDE**, relacionados a la ingeniería de control, minería, e ingeniería de materiales respectivamente. Además de estos tres últimos, solo existen otros dos temas (a punto de desaparecer a juzgar por los resultados en el siguiente quinquenio) en el tercer cuadrante: **X-RAY-DIFFRACTIONS** y **BIOMECHANICS**. Estos no guardan relación, a nivel conceptual, con aquellos encontrados en el tercer cuadrante para el caso mundial: **ANIMAL-MODEL**, **COMPUTER-SIMULATION**, **QUANTUM-DOT** y **BIOMATERIAL**. También encontramos temas (secundarios o aislados) en el segundo cuadrante: **CARBON-NANOWIRES** y **RAMAN-SCATTERING**, relacionados a la nanotecnología, **LINEAR-MATRIX-INEQUALITIES** (ingeniería de control) y **GENES** (biotecnología). Así también encontramos (temas transversales) en el cuarto cuadrante: **NANOPARTICLES**, **GRAPHITE**, **NANOWIRES** y **CATALISYS**, todos relacionados también a la nanotecnología.

En el quinquenio 2012-2016, a nivel mundial se detectaron dieciséis temas frente a solo tres para el caso peruano. En el cuadrante de los temas motores para el caso mundial tenemos **ULTRASTRUCTURE**, **ELECTRIC-BATTERIES**, **METABOLIM**, **TUMORS**, **CONTROLLED-STUDY** y **MOLYBDENUM-COMPOUNDS**. Surgen nuevos temas, aunque se mantienen las áreas más amplias como biotecnología y tecnología energética muy relacionadas a la nanotecnología que, en este quinquenio, pasa a ser un tema transversal. La ubicación estratégica del tema **ULTRASTRUCTURE** indicaría la gran relación que existe en las publicaciones analizadas entre la nanotecnología y la biotecnología para el quinquenio en cuestión, convirtiéndose la nanotecnología en una herramienta fundamental en las innovaciones que apuntan a solucionar problemas de salud, sin dejar de mencionar también su importancia para la tecnología energética. También encontramos temas (secundarios o aislados) en el segundo cuadrante:

ELECTROLYTIC-REDUCTION y *FOTOSENSITIZING-AGENT*, el primero relacionado a la nanotecnología; y el segundo, a la biotecnología. En el tercer cuadrante encontramos temas (emergentes o por desaparecer) relacionados a la nanotecnología (*PLASMONS*, *TITANIUM-DIOXIDE*, *QUANTUM-DOT* y *CARBON*) y a la tecnología energética (*SOLAR-CELLS* y *ENERGY-EFFICIENCY*). En el cuarto cuadrante encontramos temas (transversales) relacionados solo a la nanotecnología (*NANOTECHNOLOGY* y *GRAPHENE*). Para el caso peruano, los temas mejor ubicados estratégicamente, en el quinquenio 2012-2016, fueron: *SHEAR-DEFFORMATION* y *SEISMOLOGY*, relacionados a la ingeniería mecánica y a la ingeniería sísmica respectivamente. *ALGORITHMS* completa el grupo de temas detectados para el caso peruano y se ubica en el tercer cuadrante como estructura temática emergente. Entre los tres temas detectados no existe relación alguna.

Se ha encontrado escasa similitud solo en dos estructuras temáticas de los dos primeros quinquenios: en el quinquenio 2002-2006, el tema transversal *MATHEMATICAL-MODELS*, tiene nodos comunes con el tema emergente *ALGORITHMS* del diagrama estratégico mundial.

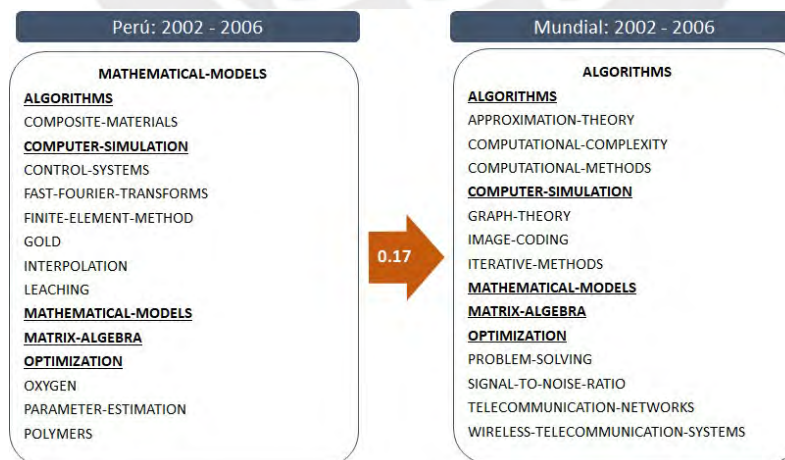


Figura 69. Comparación de temas similares: Perú vs Mundial (2002-2006)

Entre ambos existe un índice *Jaccard* de 0.17, pues comparten cinco de sus nodos o palabras clave (fig. 68). Se podría decir que las investigaciones que aportan a ambas estructuras temáticas tienen escasa similitud, además con la diferencia de que para el caso mundial es un tema emergente y para el caso peruano, transversal.

En el quinquenio 2007-2011, el tema motor **ZINC-SULFIDE** del diagrama estratégico peruano tiene cierta similitud con el tema transversal **NANOWIRES** del diagrama estratégico mundial. El nexo conceptual comparte dos nodos o palabras clave, el índice de similitud es 0.10 (fig. 69). Aunque la similitud es bastante baja, existe relación con el campo de la nanotecnología (no necesariamente con la estructura temática **NANOTECHNOLOGY**) por parte de los nodos de ambas estructuras temáticas, ya que la mayoría son palabras que forman parte del corpus de términos de las investigaciones que tratan directa o indirectamente con la nanotecnología. Esto revelaría que algunos de nuestros investigadores sí se han involucrado en estudios relacionados a la nanotecnología, la más importante tendencia en el ámbito mundial según los resultados del presente estudio.

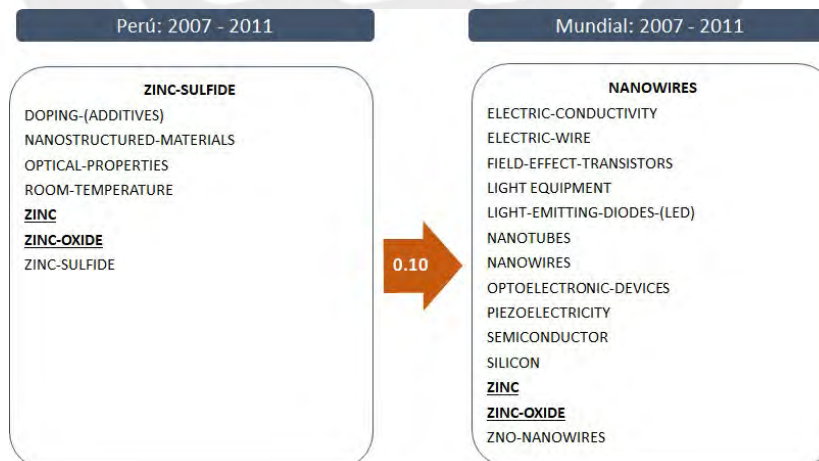


Figura 70. Comparación de temas similares: Perú vs Mundial (2007-2011)

Al comparar el mapa evolutivo del área de ingeniería a nivel mundial con el mapa evolutivo peruano (fig. 71), lo primero que llama la atención es la cantidad de temas que

no tienen continuidad en el Perú a lo largo del periodo estudiado. De los seis temas detectados el primer quinquenio, tres tienen continuidad en el siguiente quinquenio, aunque con otros nombres, lo cual implica menor fuerza en su relación de similitud. A nivel mundial, en el primer quinquenio, doce de los catorce temas extienden sus nexos conceptuales en el segundo quinquenio. Del segundo al tercer quinquenio, el caso peruano muestra un solo tema, de los cinco detectados, que logra extender su nexo conceptual. A nivel mundial, quince de los diecisiete temas detectados evolucionan al siguiente quinquenio. La comparación de los mapas evolutivos revela dos dinámicas muy distintas: una compleja y continua en el tiempo frente a otra, simple y sin continuidad en el tiempo.



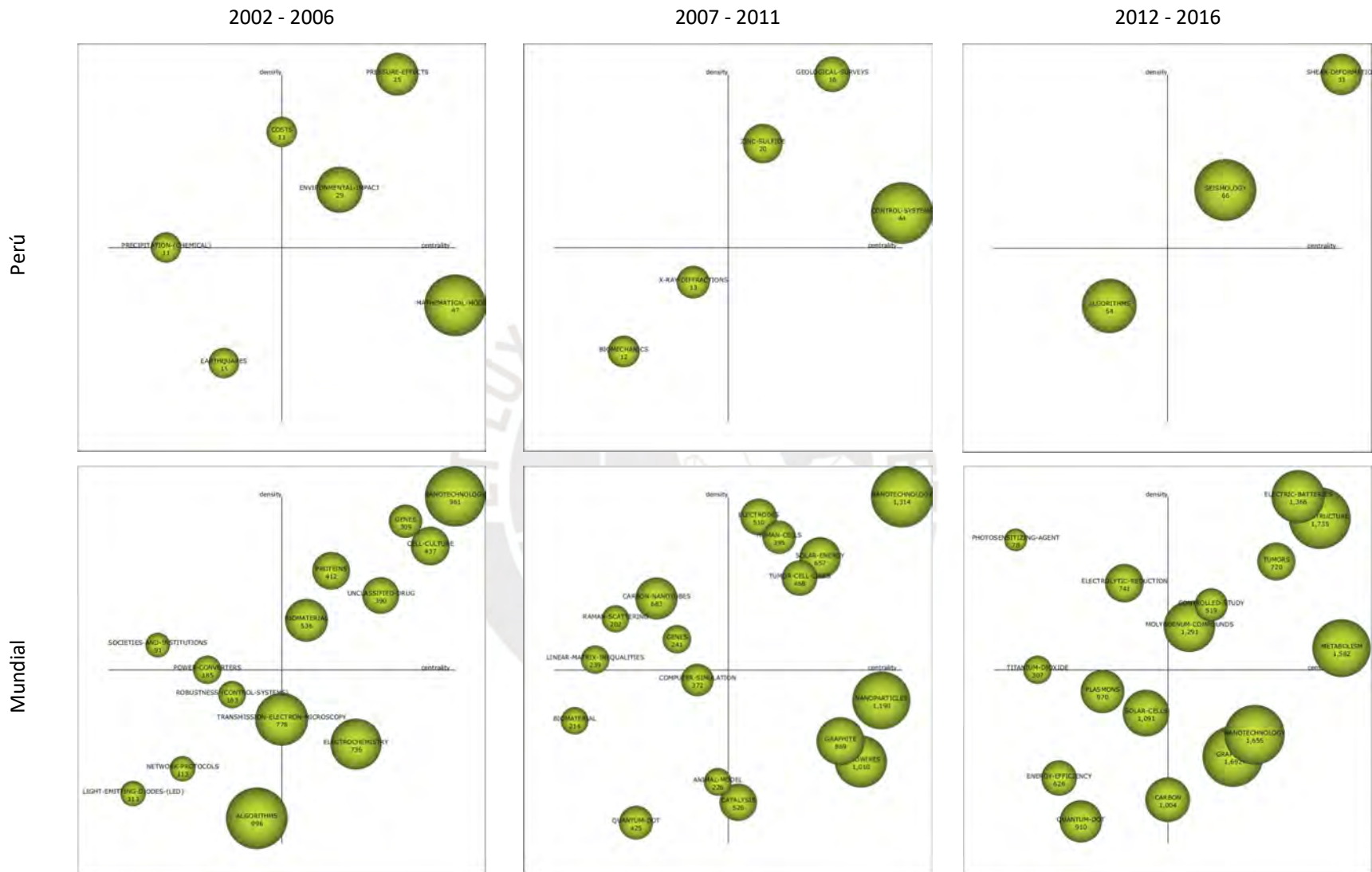


Figura 71. Comparativo de diagramas estratégicos: Perú vs Mundial

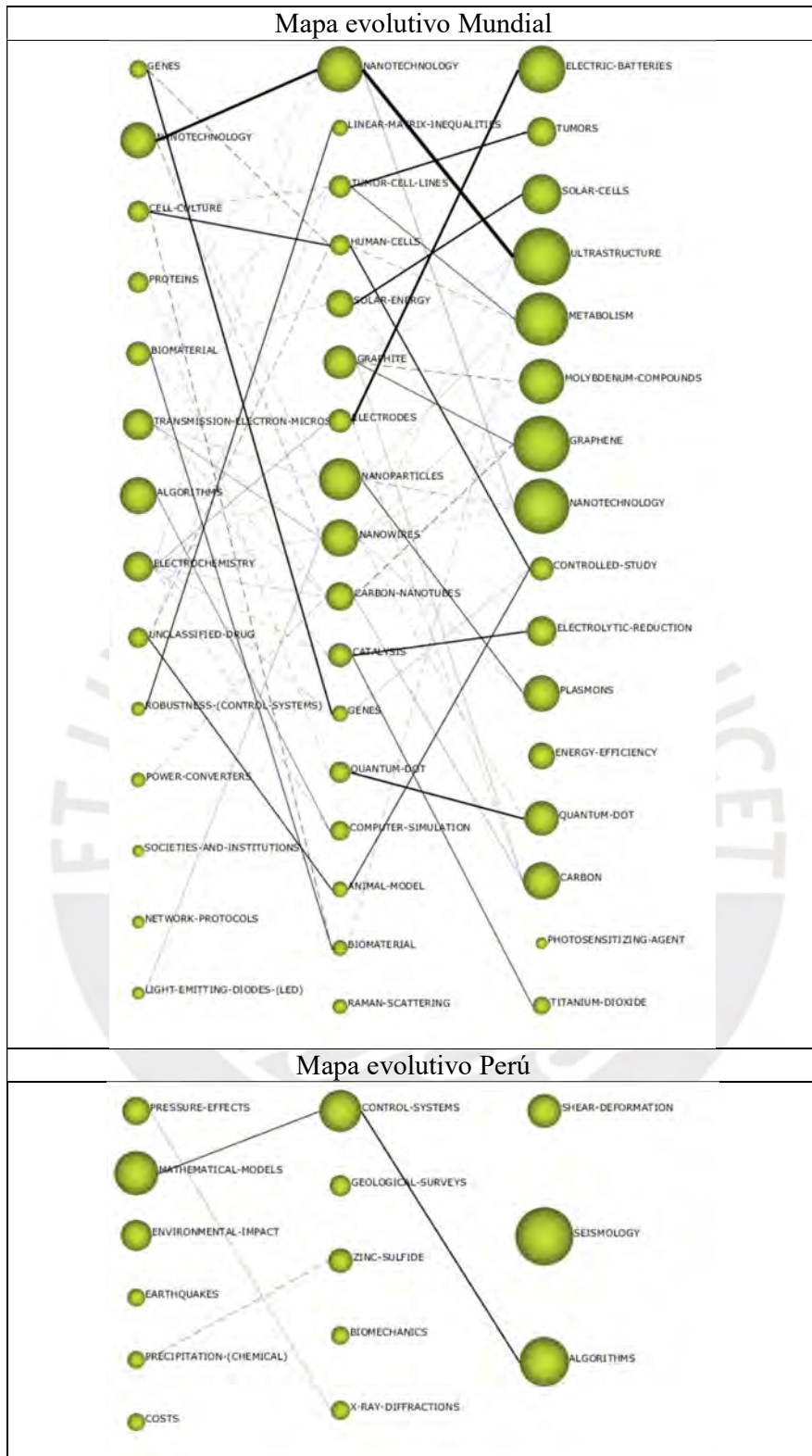


Figura 72. Comparación de mapas evolutivos: Perú vs Mundial

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo brinda dos aportes a los estudios cuantitativos: 1) es el primer estudio que analiza la evolución temática de la producción científica peruana en el campo de la ingeniería. 2) hasta donde tenemos conocimiento, es la primera vez que se realiza un estudio comparativo de resultados obtenidos de la aplicación de la metodología aquí usada a dos realidades distintas sobre un tema en común.

Los resultados obtenidos revelan que la evolución temática en el campo de la ingeniería peruana durante el periodo 2002-2016 presenta distintos focos de interés en comparación con los obtenidos para el caso mundial en líneas generales. A continuación, se presenta la interpretación de los resultados para cada quinquenio:

Del 2002 al 2006, los principales temas de la ingeniería peruana revelan un marcado interés por estudios relacionados a la resistencia de materiales, al impacto ambiental tanto de la minería como de la explotación del gas natural, y la reducción de costos en proyectos sobre fibra óptica, energía y minería. Los estudios sobre los sismos y la ingeniería química empiezan a emerger. En cambio, para el caso mundial, los principales temas muestran un marcado interés en la biotecnología y la nanotecnología. La tecnología energética (leds y convertidores de energía) emerge junto a la ingeniería informática (protocolos de redes y algoritmos).

Del 2007 al 2011, los principales temas de la ingeniería peruana muestran un fuerte interés sobre los estudios geológicos para la explotación de gas natural, las propiedades del zinc, y los sistemas de control (ingeniería electrónica de aplicación industrial). Se empieza a revelar cierto interés en las difracciones de rayos X para sintetizar, caracterizar y estudiar las propiedades de nanomateriales. De igual manera, se ha detectado interés en la biomecánica, principalmente por su aplicación en la ortopedia. Por el lado de la ingeniería mundial, los principales temas siguen perteneciendo a la biotecnología y a la nanotecnología, resaltando los

estudios sobre el cáncer y la genética; y, por otro lado, surgen nuevos temas protagonistas relacionados a la tecnología energética: energía solar y electrodos. La ubicación estratégica de los estudios relacionados a la ingeniería informática (*COMPUTER-SIMULATION*) confirma su pérdida de protagonismo puesto que a partir de entonces no se detectaron más temas relacionados a ellos.

Del 2011 al 2016, los principales temas de la ingeniería peruana son la mecánica estructural y la sismología. Los estudios sobre este último tienen mucha similitud con los estudios sobre sismos del primer quinquenio. Llama la atención su desaparición durante el segundo quinquenio, mostrando un truncamiento en la evolución de un tema importante para el Perú por su realidad sísmica. Por otro lado, los algoritmos emergen como tema, llegando a consolidarse como la única estructura temática que se mantiene durante los tres quinquenios, aunque cambiando de nombre en cada uno de ellos. Este caso se explicará más adelante. A nivel mundial, la presencia de la nanotecnología sigue siendo notable en las investigaciones. Aparecen nuevas estructuras temáticas como temas principales, aunque mantienen su relación con áreas más amplias como la biotecnología (tumores, metabolismo, y estudios controlados) y la tecnología energética (baterías eléctricas). El mayor protagonismo lo toma un nuevo tema llamado *ultraestructura*, muy similar en su estructura interna al tema nanotecnología del quinquenio anterior, lo que confirma la estrecha relación entre la nanotecnología y la biotecnología que empezamos a ver en los quinquenios anteriores. En el área de la tecnología energética, por un lado, surgen estudios relacionados a la eficiencia energética, y por otro, declinan los relacionados a las células solares.

El análisis de los datos también ha permitido detectar una escasa similitud entre los casos peruano y mundial a nivel de estructuras temáticas que representan a los algoritmos (primer quinquenio) y a la nanotecnología (segundo quinquenio).

Los algoritmos son parte del único caso peruano que muestra una evolución ininterrumpida a lo largo de todo el periodo de estudio. Así tenemos que, en la parte inicial de todo el periodo analizado, se hace uso de algoritmos en modelos matemáticos y/o simulaciones por computadora aplicados en la biomecánica, la informática, la aerodinámica y la minería, entre otros. En la parte intermedia del periodo analizado su uso alcanza a estudios sobre electrónica de aplicación industrial, y llega al último quinquenio a ser usado en estudios sobre ultrasonido y procesamiento de imágenes y señales para apoyar los diagnósticos médicos. Se necesita un estudio posterior para confirmar que este tema consolida su evolución y se mantiene en el interés científico local.

Es importante mencionar las siguientes dos estructuras temáticas: ***PRECIPITATION-(CHEMICAL)*** y ***X-RAY-DIFFRACTIONS***, que, si bien no tienen ninguna similitud con otras estructuras temáticas del ámbito mundial, sí son conceptos pertenecientes al campo nanotecnológico. Con esto, sumado al caso de ***ZINC-SULFIDE***, se evidencia que nuestros investigadores sí realizan estudios nanotecnológicos, pero no de aquellos que se realizan a nivel mundial, orientados a la biotecnología y la tecnología energética.

Después de haber identificado y analizado los principales temas de la ingeniería peruana y mundial para el periodo 2002-2016, pasamos a responder las preguntas de investigación del presente estudio con las siguientes conclusiones:

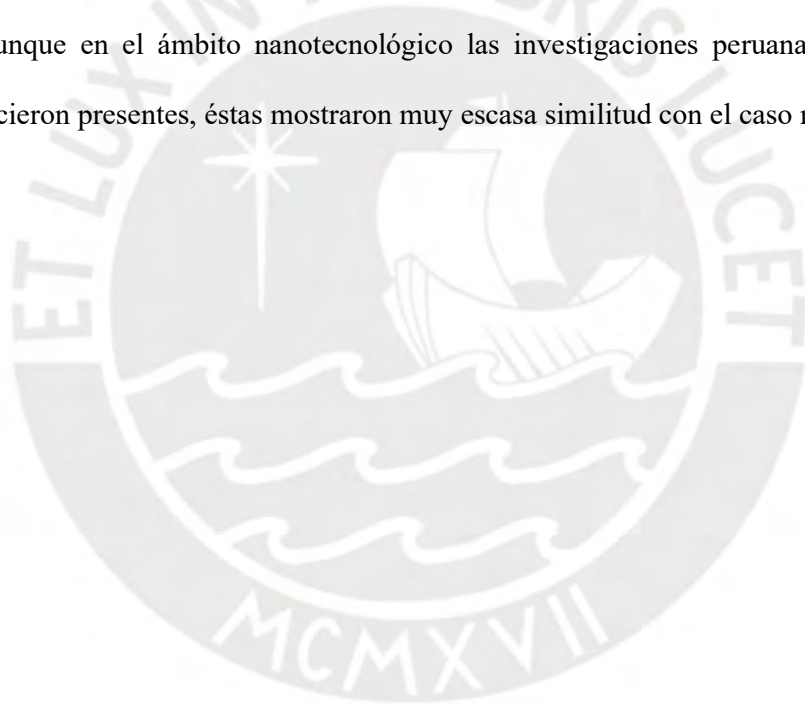
1. Para el caso peruano, que basa su economía en la explotación de recursos naturales, los temas más estratégicos de la investigación en ingeniería están relacionados a las actividades mineras, petroleras y gasíferas en los primeros dos quinquenios, donde se priorizó estudios geológicos y de impacto ambiental. De la misma manera, su ubicación geográfica, que lo define como un país de alto riesgo sísmico, contribuye a que el estudio de los sismos sea igualmente estratégico. Se destaca también la

ingeniería de materiales y el uso de algoritmos al servicio de otras especialidades de la ingeniería.

2. Los cambios o la dinámica de los temas abordados en el caso peruano son como sigue: el tema representado por *ALGORITHMS* muestra una evolución interesante hacia el quinquenio 2012-2016, donde se muestra como un tema independiente y emergente. El caso de *EARTHQUAKE* y *SISMOLOGY* es también notable, aunque llama la atención su desaparición en el quinquenio 2007-2011. Hay otros dos temas que tienen continuidad entre los dos primeros quinquenios y que guardan escasa relación entre sí: *PRESSURE-EFFECTS* y *X-RAY-DIFFRACTIONS*, además del caso de *PRECIPITATION-(CHEMICAL)* y *ZINC-SULFIDE*. Los demás temas no evolucionaron o se perdió interés en ellos.
3. Para el caso mundial, los temas más estratégicos de la investigación pertenecen a la biotecnología y a la tecnología energética, ambas muy relacionadas con la nanotecnología. Podríamos estar hablando de la consolidación de la *nanobiotecnología* en el último quinquenio del periodo analizado, donde resaltan las investigaciones sobre el cáncer, nuevos biomateriales y fármacos, entre otros. En el tema energético, la industria de los dispositivos móviles y la industria automotriz demandan soluciones para aumentar la capacidad energética de las baterías usadas en sus productos.
4. Los cambios o la dinámica de los temas abordados en el caso peruano son como sigue: el tema *NANOTECHNOLOGY* es el más estudiado de manera consecutiva a lo largo de todo el periodo analizado, donde han surgido temas muy ligados al campo de la nanotecnología, llegando a formar estructuras independientes. En el primer quinquenio, el 21% de los temas detectados está relacionado a la nanotecnología. En el segundo y el tercero, 44% y 56% respectivamente. Otro grupo

de temas detectados está ligado a la biotecnología, donde resaltan los estudios sobre genética y medicina con ayuda de nanotecnología. El tercer grupo de temas pertenece al ámbito de la tecnología energética donde también es muy notorio el uso de la nanotecnología, que va cobrando más importancia de quinquenio a quinquenio. De manera aislada empiezan a surgir los estudios sobre eficiencia energética en el último quinquenio.

5. La ingeniería peruana y la ingeniería mundial, representadas en las investigaciones incluidas en la base de datos *Scopus*, evidencian ejes temáticos distintos entre sí, que atienden problemas planteados por la realidad local o global, respectivamente. Aunque en el ámbito nanotecnológico las investigaciones peruanas también se hicieron presentes, éstas mostraron muy escasa similitud con el caso mundial.



7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios específicos sobre la categoría que *Scimago Journal Rank* denomina *computer science* (ciencia de la computación), ya que no lo incluye dentro de ingeniería. Ahí podemos encontrar temas como inteligencia artificial, redes de computadoras y comunicaciones, hardware, software, entre otros. A pesar de ello, en nuestro estudio se detectaron temas como protocolos de redes, algoritmos y simulación por computadora.

Con la misma metodología aplicada en esta tesis, se recomienda realizar estudios para el siguiente quinquenio (2017-2021) y observar cómo siguen evolucionando temáticamente las investigaciones en ingeniería en el Perú y a nivel mundial. También resultaría de mucho interés hacer comparativos con países de realidades similares a la nuestra. De igual manera, es recomendable que se aplique a otras áreas del conocimiento, consideradas de importancia en el contexto nacional, con el propósito de tener más y/o mejores panoramas temáticos de nuestra producción científica, y tomar mejores decisiones con respecto a las líneas de investigación que se siguen en nuestro país, especialmente en áreas del conocimiento donde hay poco o nada de este tipo de estudios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- An, X. Y., & Wu, Q. Q. (2011). Co-word analysis of the trends in stem cells field based on subject heading weighting. *Scientometrics*, 88(1), 133–144.
<https://doi.org/10.1007/s11192-011-0374-1>
- Arbulu, R., & Soto, J. (2006). A design case study: Integrated product and process management. *Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14*, 107–119.
- Arce Soto, N. Z., Espinoza Pérez, A. M., Castillo Plasencia, C. F., & Vásquez Paniagua, R. (2013). Planeamiento estratégico del gas natural en el Perú (Pontificia Universidad Católica del Perú). Retrieved from
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/8626>
- Arroyo Hernández, C. H., Zukerán Medina, E. B., & Miranda Soberón, U. E. (2009). Características de la producción científica biomédica en Ica, Perú 1998-2007. *Revista Peruana de Epidemiología*, 26(2), 203–206.
- Bach, S., Talarek, N., Andrieu, T., Vierfond, J.-M., Mettey, Y., Galons, H., ... Blondel, M. (2003). Isolation of drugs active against mammalian prions using a yeast-based screening assay. *Nature Biotechnology*, 21(9), 1075–1081.
<https://doi.org/10.1038/nbt855>
- Barinotto C, V. H., Willems, B. L., Bustamante D, A., Los Santos V, L. De, & Gonzalez G, J. (2004). Preparation and characterization of the superconductor [Y_{0.8}Ca_{0.2}]SrBaCu_{2.8}(BO₃)_{0.2}O_{6.4} compound. *Physica C: Superconductivity*, 408–410, 58–59. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2004.02.052>
- Barrère, F., Van Der Valk, C. M., Dalmeijer, R. A. J., Meijer, G., Van Blitterswijk, C. A., De Groot, K., & Layrolle, P. (2003). Osteogenicity of octacalcium phosphate coatings applied on porous metal implants. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, 66(4), 779–788. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0345093232&partnerID=40&md5=0f2844b94aa9698edeb2ae72d5a3af96>
- Benny, P., Avila, C., Van, C. P., Isevcan, E., Walker, J., Gonzalez, L. F., ... Moreno, V. H. (2010). Case studies in the application of an effective anticollision risk management standard. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production 2010*, 2, 1185–1203. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954219979&partnerID=40&md5=deee173e3a3905b6450d8e4f169b207d>
- Blind, K., Edler, J., Frietsch, R., & Schmoch, U. (2006). Motives to patent: empirical evidence from Germany. *Research Policy*, 35(5), 655–672.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.03.002>
- Blondet, M., Vargas-Neumann, J., Tarque, N., Soto, J., Sosa, C., & Sarmiento, J. (2016). Seismic protection of earthen vernacular and historical constructions. *Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls - Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2016*, 3–14. Retrieved from
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85002062745&partnerID=40&md5=cc6fa0fd0fd0fd8dda48cb22c5c515d0

- Botts, S. D., Warner, R. C., Martincorena, M., & Mills, L. (2004). Incorporating indigenous technologies into enhanced stormwater, erosion and sediment control systems. *SME Annual Meeting and Exhibit, February*, 23–25.
- Bustamante, D. A., Bellido, Q. R., De Los Santos, V. L., & González, J. C. (2004). Preparation and characterization of the superconductor CaLaBaCu_{2.8}(BO₃)_{0.2}O_{6.4} compound. *Physica C: Superconductivity*, 408–410, 884–885. <https://doi.org/10.1016/j.physc.2004.03.231>
- Caballero, P., Gutiérrez, C., Rosell, G., Yagui, M., Alarcón, J., Espinoza, M., ... Romaní, F. (2011). Análisis bibliométrico de la producción científica sobre VIH/SIDA en el Perú 1985 - 2010. *Revista Peruana de Epidemiología*, 28(3), 470–476.
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155–205. <https://doi.org/10.1007/BF02019280>
- Canales, F. G., & Mantari, J. L. (2016). Buckling and free vibration of laminated beams with arbitrary boundary conditions using a refined HSDT. *Composites Part B: Engineering*, 100, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.024>
- Cancino, C., Torrealva, D., Vicente, E., García Bryce, J., Soto, M., Cruz, E., & Wong, K. (2016). The cathedral of ica and the church of Kuño Tambo in Peru: Two retrofitting projects following a principles-based conservation approach. *Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls - Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2016*, 410–417. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85001943943&partnerID=40&md5=f9538f804e6b7ad0bfb260e3d6d5c17e>
- Carbajal, F., Ruiz, G., & Schexnayder, C. J. (2005). Quincha construction in Perú. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 10(1), 56–62. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2005\)10:1\(56\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2005)10:1(56))
- Casaretto, C., Prado, G., Maguire, S., & Vexler, D. (2010). The role of participatory environmental and social monitoring in preventing social conflict. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production 2010*, 4, 2815–2820. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954234945&partnerID=40&md5=3fd42eb83aad59dba8d0d82fb3840c0f>
- Cavalcanti, S., & Papini, M. (2004). Preliminary model matching of the EMBRAER 170 Jet. *Journal of Aircraft*, 41(4), 703–710. <https://doi.org/10.2514/1.3207>
- Cervera, M., Chiumenti, M., Valverde, Q., & Agelet de Saracibar, C. (2003). Mixed linear/linear simplicial elements for incompressible elasticity and plasticity. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192(49–50), 5249–5263. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2003.07.007>
- Chang, H. C., & Wang, C. Y. (2015). Unveiling the co-word structures among mobile computing, mobile commerce and mobile application research: A science mapping analysis. *International Journal of Electronic Commerce Studies*, 6(2), 243–258.

<https://doi.org/10.7903/ijecs.1330>

- Chen, H., Wang, G. D., Chuang, Y.-J., Zhen, Z., Chen, X., Biddinger, P., ... Xie, J. (2015). Nanoscintillator-mediated X-ray inducible photodynamic therapy for in vivo cancer treatment. *Nano Letters*, *15*(4), 2249–2256. <https://doi.org/10.1021/nl504044p>
- Chen, S., Duan, J., Tang, Y., Jin, B., & Zhang Qiao, S. (2015). Molybdenum sulfide clusters-nitrogen-doped graphene hybrid hydrogel film as an efficient three-dimensional hydrogen evolution electrocatalyst. *Nano Energy*, *11*, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.09.022>
- Chinnasamy, C. N., Jeyadevan, B., Perales-Perez, O., Shinoda, K., Tohji, K., & Kasuya, A. (2002). Growth dominant co-precipitation process to achieve high coercivity at room temperature in CoFe/sub 2/O/sub 4/ nanoparticles. *IEEE Transactions on Magnetics*, *38*(5), 2640–2642. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2002.801972>
- Cho, B.-K., Zengler, K., Qiu, Y., Park, Y. S., Knight, E. M., Barrett, C. L., ... Palsson, B. Ø. (2009). The transcription unit architecture of the Escherichia coli genome. *Nature Biotechnology*, *27*(11), 1043–1049. <https://doi.org/10.1038/nbt.1582>
- Choi, M.-R., Stanton-Maxey, K. J., Stanley, J. K., Levin, C. S., Bardhan, R., Akin, D., ... Clare, S. E. (2007). A cellular trojan horse for delivery of therapeutic nanoparticles into tumors. *Nano Letters*, *7*(12), 3759–3765. <https://doi.org/10.1021/nl072209h>
- Cisneros-Velarde, P., Correa, M., Mayta, H., Anticona, C., Pajuelo, M., Oberhelman, R., ... Castaneda, B. (2016). Automatic pneumonia detection based on ultrasound video analysis. *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 4117–4120. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591632>
- Cobo, M. J. (2011). *SciMAT: Herramienta Software para el Análisis de la Evolución del Conocimiento Científico. Propuesta de una Metodología*. Universidad de Granada.
- Cobo, M. J., Chiclana, F., Collop, A., De Oña, J., & Herrera-Viedma, E. (2014). A bibliometric analysis of the intelligent transportation systems research based on science mapping. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *15*(2), 901–908. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2284756>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011a). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics*, *5*(1), 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011b). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *62*(7), 1382–1402. <https://doi.org/10.1002/asi.21525>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera, F., & Herrera-Viedma, E. (2012). A Note on the ITS Topic Evolution in the Period 2000 – 2009 at T-ITS. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, *13*(1), 413–420.
- Cobo, M. J., Martínez, M. A., Gutiérrez-Salcedo, M., Fujita, H., & Herrera-Viedma, E.

- (2015). 25 years at Knowledge-Based Systems: A bibliometric analysis. *Knowledge-Based Systems*, 80, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.12.035>
- CONCYTEC. (2017). *I Censo Nacional de Investigación y Desarrollo a Centros de Investigación 2016*. Retrieved from http://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/censo_2016/libro_censo_nacional.pdf
- Coulter, N., Monarch, I., & Konda, S. (1998). Software engineering as seen through its research literature: A study in co-word analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, 49(13), 1206–1223. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(1998\)49:13<1206::AID-ASI7>3.3.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(1998)49:13<1206::AID-ASI7>3.3.CO;2-6)
- Couto, M. L. F., Da Costa, G. M., Carioca, A. C., & De Castro Dutra, F. (2008). Characterization of aluminum and phosphorus in iron ore. *ANNALS - 3rd International Meeting on Ironmaking and 2nd International Symposium on Iron Ore*, 22–30. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78650760134&partnerID=40&md5=c2f7ab359da7876e770a2ba014c2b694>
- Cuadra, C., Karkee, M. B., Ogawal, J., & Cojas, J. (2003). Preliminary investigation of earthquake risk to Inca's architectural heritage. *WIT Transactions on the Built Environment*, 72, 167–176.
- de la Rosa Troyano, F. F., Martínez Gasca, R., González Abril, L., & Velasco Morente, F. (2005). Análisis de redes sociales mediante diagramas estratégicos y diagramas estructurales. *REDES - Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales*, 8(2), 1–32.
- Debackere, K., & Veugelers, R. (2005). The role of academic technology transfer organizations in improving industry science links. *Research Policy*, 34(3), 321–342. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.12.003>
- Dehdarirad, T., Villarroya, A., & Barrios, M. (2014). Research trends in gender differences in higher education and science: a co-word analysis. *Scientometrics*, 101(1), 273–290. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1327-2>
- Dolnicar, S., & Ring, A. (2014). Tourism marketing research: Past, present and future. *Annals of Tourism Research*, 47, 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2014.03.008>
- Elfström, N., Juhasz, R., Sychugov, I., Engfeldt, T., Karlström, A. E., & Linnros, J. (2007). Surface Charge sensitivity of silicon nanowires: size dependence. *Nano Letters*, 7(9), 2608–2612. <https://doi.org/10.1021/nl0709017>
- Florens, J., & Urma, D. (2006). Dynamical issues at the low level of human / virtual object interaction. *IEEE Virtual Reality Conference (VR'06)*, 102–102. <https://doi.org/10.1109/VR.2006.55>
- Galán, E., Manrique, N., Villavicencio, E., Yllapota, E., Peralta, M., & De la Cruz, W. (2005). Producción científica de los investigadores del pregrado de medicina humana del Perú 1993-2003. *CIMEL*, 10(1), 41–48.
- Gao, P., & Yu, B. (2014). Visualization analysis of dynamic evolution of the theme in improvisation studies. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(5), 3303–3312. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v12i5.4927>

- García, R. C., Suemitsu, W. I., & Pinto, J. O. P. (2011). Precise position control of a PMSM based on new adaptive PID controllers. *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1983–1988. <https://doi.org/10.1109/IECON.2011.6119443>
- Glinka, M., & Marquardt, R. (2005). A new AC/AC multilevel converter family. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(3), 662–669. <https://doi.org/10.1109/TIE.2005.843973>
- Gong, X., Robinson, M. R., Ostrowski, J. C., Moses, D., Bazan, G. C., & Heeger, A. J. (2002). High-efficiency polymer-based electrophosphorescent devices. *Advanced Materials*, 14(8), 581–585. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020418\)14:8<581::AID-ADMA581>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020418)14:8<581::AID-ADMA581>3.0.CO;2-B)
- Han, H., Gui, J., & Xu, S. (2014). Revealing research themes and their evolutionary trends using bibliometric data based on strategic diagrams. *Proceedings - 2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion, ISCC-C 2013*, 653–659. <https://doi.org/10.1109/ISCC-C.2013.121>
- Hassoun, J., Bonaccorso, F., Agostini, M., Angelucci, M., Betti, M. G., Cingolani, R., ... Scrosati, B. (2014). An advanced lithium-ion battery based on a graphene anode and a lithium iron phosphate cathode. *Nano Letters*, 14(8), 4901–4906. <https://doi.org/10.1021/nl502429m>
- He, Q. (1999). Knowledge discovery through co-word analysis. *Library Trends*, 48(1), 133–159. <https://doi.org/x>
- Heidelberg, J. F., Paulsen, I. T., Nelson, K. E., Gaidos, E. J., Nelson, W. C., Read, T. D., ... Fraser, C. M. (2002). Genome sequence of the dissimilatory metal ion-reducing bacterium *Shewanella oneidensis*. *Nature Biotechnology*, 20(11), 1118–1123. <https://doi.org/10.1038/nbt749>
- Heradio, R., Pérez-Morago, H., Fernández-Amoros, D., Javier Cabrerizo, F., & Herrera-Viedma, E. (2016). A bibliometric analysis of 20 years of research on software product lines. *Information and Software Technology*, 72, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.11.004>
- Hu, C.-P., Hu, J.-M., Deng, S.-L., & Liu, Y. (2013). A co-word analysis of library and information science in China. *Scientometrics*, 97(2), 369–382. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1076-7>
- Hu, Y., Sirlantzis, K., Howells, G., Ragot, N., & Rodriguez, P. (2015). An online background subtraction algorithm using a contiguously weighted linear regression model. *2015 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 1845–1849. <https://doi.org/10.1109/EUSIPCO.2015.7362703>
- Huamani, C., & Mayta Tristán, P. (2010). Producción científica peruana en medicina y redes de colaboración, análisis del Science Citation Index 2000-2009. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 27(3), 315–325.
- Huamani, C., & Pacheco Romero, J. (2009). Visibilidad y producción de las revistas biomédicas peruanas. *Revista de Gastroenterología Del Peru*, 29(2), 132–139.

- Isidori, A., Marconi, L., & Serrani, A. (2003). Robust nonlinear motion control of a helicopter. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 48(3), 413–426. <https://doi.org/10.1109/TAC.2003.809147>
- Janata, J., & Josowicz, M. (2003). Conducting polymers in electronic chemical sensors. *Nature Materials*, 2(1), 19–24. <https://doi.org/10.1038/nmat768>
- Jáuregui-Rosas, S., Perales-Pérez, O. J., Noriega, L. A., & Castillo, L. A. (2011). Structural, optical and magnetic properties of Co-doped ZnO nanopowders. *MRS Proceedings*, 1292, mrsf10-1292-k08-09. <https://doi.org/10.1557/opl.2011.19>
- Jáuregui-Rosas, S., Perales-Pérez, O., Urcia-Romero, S., Asmat-Uceda, M., & Quezada-Castillo, E. (2010). Structural and magnetic properties of Zn_{1-x}CoxO nanoparticles prepared by a simple sol-gel method at low temperature. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 1201, 277–282. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77953992767&partnerID=40&md5=a4dd0dce3c94be0721517ecf855f98ec>
- Jauregui-Rosas, S., Perales-Pérez, O., Vásquez, O., Jia, W., Tomar, M. S., & Fachini, E. (2008). Structural and luminescence properties of nanocrystalline Eu³⁺-doped Gd₂O₃. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 1074, 192–197. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70350317422&partnerID=40&md5=3ab97b8f25f853a9d8f32ce372b11d0a>
- Jáuregui-Rosas, S., Perales Pérez, O., Jia, W., Vásquez, O., & Angelats, L. (2009). Structural, optical and luminescent properties of ZnO:Eu³⁺ nanocrystals prepared by sol-gel method. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 1174, 83–88. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-72749084155&partnerID=40&md5=98d572f5f34241b54d37f415a85e3474>
- Joyce, S., & Thomson, I. (2004). Mining and the cultural dimensions of sustainable development. *2004 SME Annual Meeting Preprints*, 1029–1031. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2942544262&partnerID=40&md5=2cede2566e980fd1ef7cc162e78a1aaf>
- Kim, Y.-S., You, C.-S., Yin, R.-Z., Back, C., Lee, D.-Y., Mizuno, M., & Jeong, S.-K. (2015). Electronic structure and chemical bonding of Li_{1.1}Nb_{0.9}O₂-y as a negative electrode material for lithium secondary batteries. In *The DV-X Molecular-Orbital Calculation Method*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11185-8_11
- Köhler, A., Wilson, J. S., & Friend, R. H. (2002). Fluorescence and phosphorescence in organic materials. *Advanced Materials*, 14(10), 701. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020517\)14:10<701::AID-ADMA701>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020517)14:10<701::AID-ADMA701>3.0.CO;2-4)
- Kong, T., Zeng, J., Wang, X., Yang, X., Yang, J., McQuarrie, S., ... Xing, J. Z. (2008). Enhancement of radiation cytotoxicity in breast-cancer cells by localized attachment of gold nanoparticles. *Small*, 4(9), 1537–1543. <https://doi.org/10.1002/sml.200700794>
- Kulkarni, S. K. (2015). *Nanotechnology: Principles and Practices*. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02225a&AN=pucp.587320&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Kunjachan, S., Detappe, A., Kumar, R., Ireland, T., Cameron, L., Biancur, D. E., ... Berbeco,

- R. I. (2015). Nanoparticle mediated tumor vascular disruption: a novel strategy in radiation therapy. *Nano Letters*, *15*(11), 7488–7496. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b03073>
- Laflamme, M. A., Chen, K. Y., Naumova, A. V., Muskheli, V., Fugate, J. A., Dupras, S. K., ... Murry, C. E. (2007). Cardiomyocytes derived from human embryonic stem cells in pro-survival factors enhance function of infarcted rat hearts. *Nature Biotechnology*, *25*(9), 1015–1024. <https://doi.org/10.1038/nbt1327>
- Lagos, C., Crawford, B., Soto, R., Cabrera, E., Vega, J., Johnson, F., & Paredes, F. (2016). Improving Tabu Search Performance by Means of Automatic Parameter Tuning. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, *39*(1), 51–58. <https://doi.org/10.1109/CJECE.2015.2496338>
- Lanza, R. P., Chung, H. Y., Yoo, J. J., Wettstein, P. J., Blackwell, C., Borson, N., ... Atala, A. (2002). Generation of histocompatible tissues using nuclear transplantation. *Nature Biotechnology*, *20*(7), 689–696. <https://doi.org/10.1038/nbt703>
- Larena, A. B., Mateo, J. G., De Tomás, J. A., Usón, T. F., & Ríos, R. (2016). Lima Convention Centre: A singular seismic resistant building structure. *IABSE Congress Stockholm, 2016: Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment*, 1031–1038. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018962639&partnerID=40&md5=179ff9bc58edb9252c6ba70663731e34>
- Leduc, M., Backens, M., & Smith, M. E. (2004). Tailings co-disposalTM at the esquel gold mine Patagonia, Argentina. *2004 SME Annual Meeting Preprints*, 1033–1037. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2942601108&partnerID=40&md5=2e4d223627e0778cd186ae49f75c52df>
- Lee, B., & Jeong, Y. Il. (2008). Mapping Korea's national R&D domain of robot technology by using the co-word analysis. *Scientometrics*, *77*(1), 3–19. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1819-4>
- Li, P. (2003). Biomimetic nano-apatite coating capable of promoting bone ingrowth. *Journal of Biomedical Materials Research*, *66A*(1), 79–85. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.10519>
- Liang, C., Diao, S., Wang, C., Gong, H., Liu, T., Hong, G., ... Liu, Z. (2014). Tumor metastasis inhibition by imaging-guided photothermal therapy with single-walled carbon nanotubes. *Advanced Materials*, *26*(32), 5646–5652. <https://doi.org/10.1002/adma.201401825>
- Linnemer, L., & Visser, M. (2017). *The most cited articles from the top-5 journals (1991-2015)*. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/hal/wpaper/hal-01634432.html>
- Liu, F., Song, S., Xue, D., & Zhang, H. (2012). Folded structured graphene paper for high performance electrode materials. *Advanced Materials*, *24*(8), 1089–1094. <https://doi.org/10.1002/adma.201104691>
- Liu, Y., Polo, A., Zequera, M., Harba, R., Canals, R., Vilcahuaman, L., & Bello, Y. (2016). Detection of diabetic foot hyperthermia by using a regionalization method, based on the plantar angiosomes, on infrared images. *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 1389–1392.

<https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590967>

- Lockard, G. D., & Vexler, D. (2010). From the highlands to the coast: Preliminary results of the PERU LNG archaeological project. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production 2010*, 4, 2805–2814. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954220780&partnerID=40&md5=cbb033c7bcad093902b0c169e623e88a>
- Lomer, M., & Baldwin-Olguin, G. (2004, October 21). *Devices, components, and applications of low cost using polymer optical fibers* (A. Marcano O. & J. L. Paz, Eds.). <https://doi.org/10.1117/12.591557>
- López-Herrera, A. G., Cobo, M. J., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2010). A bibliometric study about the research based on hybridating the fuzzy logic field and the other computational intelligent techniques: A visual approach. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 7, 17–32. <https://doi.org/10.3233/HIS-2010-0102>
- MacInnes, C. S. (2002). FFT-based joint bearing estimation. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 27(4), 774–779. <https://doi.org/10.1109/JOE.2002.806538>
- Maillard, M., Giorgio, S., & Pileni, M.-P. (2002). Silver nanodisks. *Advanced Materials*, 14(15), 1084. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020805\)14:15<1084::AID-ADMA1084>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020805)14:15<1084::AID-ADMA1084>3.0.CO;2-L)
- Mantari, J. L. (2015). Free vibration of advanced composite plates resting on elastic foundations based on refined non-polynomial theory. *Meccanica*, 50(9), 2369–2390. <https://doi.org/10.1007/s11012-015-0160-x>
- Mantari, J. L. (2016). Computational development of a 4-unknowns trigonometric quasi-3D shear deformation theory to study advanced sandwich plates and shells. *International Journal of Applied Mechanics*, 08(04), 1650049. <https://doi.org/10.1142/S1758825116500496>
- Mantari, J. L., & Yarasca, J. (2015). A simple and accurate generalized shear deformation theory for beams. *Composite Structures*, 134, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.073>
- Manyari-Rivera, M., & Basilio, J. C. (2011). Integrated online auto-tuning and digital implementation of PID controllers in industrial processes. *2011 9th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 550–555. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2011.6137985>
- Martcorena Castillo, B. (2007). *Ciencia, tecnología y sociedad en el Perú: Memoria de un compromiso (el CONCYTEC del 2001 al 2006)* (1ra ed.; F. Editorial, Ed.). Retrieved from <http://www.oei.es/salactsi/memoriaconcytec20012006.pdf>
- Martínez, M. A., Cobo, M. J., Herrera, M., & Herrera-Viedma, E. (2015). Analyzing the scientific evolution of social work using science mapping. *Research on Social Work Practice*, 25(2), 257–277. <https://doi.org/10.1177/1049731514522101>
- Martínez, M. A., & Yarleque, M. A. (2013). Gossip-based transmission algorithms performance in wireless sensor networks (WSN). *2013 IEEE International Conference*

on *Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, COMCAS 2013*.
<https://doi.org/10.1109/COMCAS.2013.6685310>

- Mayta Tristán, P., Huamaní, C., Montenegro Idrogo, J. J., Samanez Figari, C., & González Alcaide, G. (2013). Producción científica y redes de colaboración en cáncer en el Perú 2000-2001: un estudio bibliométrico en Scopus y Science Citation Index. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 30(1), 31–36.
- McCaffrey, A. P., Nakai, H., Pandey, K., Huang, Z., Salazar, F. H., Xu, H., ... Kay, M. A. (2003). Inhibition of hepatitis B virus in mice by RNA interference. *Nature Biotechnology*, 21(6), 639–644. <https://doi.org/10.1038/nbt824>
- Medina-Ramos, C., & Nieto-Chaupis, H. (2010). Controlling the temperature of a batch reactor through a NMPC scheme based on the Laguerre-Volterra model. *2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON 2010*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2010.5739865>
- Mendoza, P., Arroyo, M., & Jiménez, W. (2005). Energy systems for rural communities in Peru. *Proceedings of the ASME Power Conference, 2005, PART B*, 975–979. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-27744522491&partnerID=40&md5=9133099b05ecf07e334b53d4b99d26b8>
- Meneses, S., Cueva, R., Tupia, M., & Guanira, M. (2015). A genetic algorithm to solve 3D traveling salesman problem with initial population based on a GRASP algorithm. *28th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, CAINE 2015*, 47–51. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983593683&partnerID=40&md5=41456792cb02fdacca3d15081895102b>
- Merino, S. R. V., Salazar, J. R., & Schexnayder, C. J. (2005). Use of rock blocks to protect the downstream zone of a hydraulic discharge structure. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 10(1), 63–69. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2005\)10:1\(63\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2005)10:1(63))
- Mi, C. C., Buja, G., Choi, S. Y., & Rim, C. T. (2016). Modern advances in wireless power transfer systems for roadway powered electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(10), 6533–6545. <https://doi.org/10.1109/TIE.2016.2574993>
- Milojević, S., Sugimoto, C. R., Yan, E., & Ding, Y. (2011). The cognitive structure of Library and Information Science: analysis of article title words. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(10), 1933–1953. <https://doi.org/10.1002/asi.21602>
- Mora-Valentín, E. M., Ortiz-de-Urbina-Criado, M., & Nájera-Sánchez, J. J. (2018). Mapping the conceptual structure of science and technology parks. *Journal of Technology Transfer*, 43(5), 1410–1435. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9654-8>
- Moya-Anegón, F., Bustos-González, A., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., López-Illescas, C., & Vargas-Quesada, B. (2014). *Principales indicadores bibliométricos de la actividad científica peruana, 2006-2011*. Retrieved from <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/publicaciones/informes/item/48-informe-n-1-principales-indicadores-bibliometricos-de-la-actividad-cientifica-peruana-2006-2011>
- Muñoz-Leiva, F., Sánchez-Fernández, J., Liébana-Cabanillas, F. J., & Martínez-Fiestas, M.

- (2013). Detecting salient themes in financial marketing research from 1961 to 2010. *Service Industries Journal*, 33(9–10), 925–940. <https://doi.org/10.1080/02642069.2013.719884>
- Muñoz-Leiva, F., Viedma del Jesús, M. I., Sánchez-Fernández, J., & López-Herrera, A. G. (2011). An application of co-word analysis and bibliometric maps for detecting the most highlighting themes in the consumer behaviour research from a longitudinal perspective. *Quality & Quantity*, 46(4), 1077–1095. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9565-3>
- Murgado-Armenteros, E. M., Gutiérrez-Salcedo, M., Torres-Ruiz, F. J., & Cobo, M. J. (2015). Analysing the conceptual evolution of qualitative marketing research through science mapping analysis. *Scientometrics*, 102(1), 519–557. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1443-z>
- Navarro, L. A., García, D. O., Villavicencio, E. A., Torres, M. A., Nakamura, O. K., Huamaní, R., & Yabar, L. F. (2010). Opto-electronic system for detection of flat foot by using estimation techniques: study and approach of design. *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 5768–5771. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627842>
- Navarro, L. A., & Yabar, L. F. (2010). Development of and opto-electronic system for detection of flat foot using estimation techniques. *2010 Pan American Health Care Exchanges*, 95–99. <https://doi.org/10.1109/PAHCE.2010.5474592>
- Niebert, N., Schieder, A., Abramowicz, H., Malmgren, G., Sachs, J., Horn, U., ... Karl, H. (2004). Ambient networks: an architecture for communication networks beyond 3G. *IEEE Wireless Communications*, 11(2), 14–22. <https://doi.org/10.1109/MWC.2004.1295733>
- Nieto-Márquez, A., Espartero, I., Lazo, J. C., Romero, A., & Valverde, J. L. (2009). Direct synthesis of carbon and nitrogen-carbon nanospheres from aromatic hydrocarbons. *Chemical Engineering Journal*, 153(1–3), 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.06.010>
- Oscanoa, J., Doimi, F., Dyer, R., Araujo, J., Pinto, J., & Castaneda, B. (2016). Automated segmentation and classification of cell nuclei in immunohistochemical breast cancer images with estrogen receptor marker. *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2399–2402. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591213>
- Osejo, J., Morante, G., Gamarra, L., & Gomez-Barríos, M. (2004). Applications of satellite images in the environmental evaluation of gas pipeline project. *International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*, 1153–1163. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2942560798&partnerID=40&md5=2c09367be4354a6755108e5fb1e57489>
- Paine, J. A., Shipton, C. A., Chaggar, S., Howells, R. M., Kennedy, M. J., Vernon, G., ... Drake, R. (2005). Improving the nutritional value of Golden Rice through increased provitamin A content. *Nature Biotechnology*, 23(4), 482–487. <https://doi.org/10.1038/nbt1082>
- Pamo Reyna, O. G. (2005). Estado actual de las publicaciones periódicas científicas médicas del Perú. *Revista Médica Herediana*, 16(2), 65–73.

- Pan, Y., Neuss, S., Leifert, A., Fischler, M., Wen, F., Simon, U., ... Jahn-Dechent, W. (2007). Size-dependent cytotoxicity of gold nanoparticles. *Small*, 3(11), 1941–1949. <https://doi.org/10.1002/sml.200700378>
- Pino-Díaz, J., Jiménez-Contreras, E., Ruíz-Baños, R., & Bailón-Moreno, R. (2012). Strategic knowledge maps of the techno-scientific network (SK maps). *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(4), 796–804. <https://doi.org/10.1002/asi.21712>
- Plestan, F., Grizzle, J. W., Westervelt, E. R., & Abba, G. (2003). Stable walking of a 7-dof biped robot. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 19(4), 653–668. <https://doi.org/10.1109/TRA.2003.814514>
- Rabbat, M. G., & Nowak, R. D. (2005). Quantized incremental algorithms for distributed optimization. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(4), 798–808. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2005.843546>
- Rios, C. A., & Tafur, J. C. (2003). Mathematical model and control of the pneumatic system of a lung ventilator prototype. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, 3, 2776–2779.
- Rodríguez-Ledesma, A., Cobo, M. J., López-Pujalte, C., & Herrera-Viedma, E. (2015). An overview of animal science research 1945–2011 through science mapping analysis. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 132(6), 475–497. <https://doi.org/10.1111/jbg.12124>
- Sangam, S. L., & Mogali, S. (2012). Mapping and Visualization Softwares tools: a review. *Content Management in Networked Environment*, 11. Tumkur: Tumkur University.
- Seidl, C., Ungelenk, J., Zittel, E., Bergfeldt, T., Sleeman, J. P., Schepers, U., & Feldmann, C. (2016). Tin tungstate nanoparticles: a photosensitizer for photodynamic tumor therapy. *ACS Nano*, 10(3), 3149–3157. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b03060>
- Seymour, E. (2005). Solution management and excess water treatment at Minera Yanacocha S. R. L., Cajamarca, Peru. *Minerals and Metallurgical Processing*, 22(1), 52–58.
- Sha, J., Niu, J., Ma, X., Xu, J., Zhang, X., Yang, Q., & Yang, D. (2002). Silicon nanotubes. *Advanced Materials*, 14(17), 1219–1221. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(20020903\)14:17<1219::AID-ADMA1219>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1521-4095(20020903)14:17<1219::AID-ADMA1219>3.0.CO;2-T)
- Shen, F., Chen, X., Gao, P., & Chen, G. (2003). Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater. *Chemical Engineering Science*, 58(3–6), 987–993. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(02\)00639-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(02)00639-5)
- Shuhendler, A. J., Pu, K., Cui, L., Uetrecht, J. P., & Rao, J. (2014). Real-time imaging of oxidative and nitrosative stress in the liver of live animals for drug-toxicity testing. *Nature Biotechnology*, 32(4), 373–380. <https://doi.org/10.1038/nbt.2838>
- Solero, L., Lidozzi, A., & Pomilio, J. A. (2005). Design of multiple-input power converter for hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(5), 1007–1016. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2005.854020>
- Soo Choi, H., Liu, W., Misra, P., Tanaka, E., Zimmer, J. P., Itty Ipe, B., ... Frangioni, J. V. (2007). Renal clearance of quantum dots. *Nature Biotechnology*, 25(10), 1165–1170.

<https://doi.org/10.1038/nbt1340>

- Srivastava, A., Srivastava, O. N., Talapatra, S., Vajtai, R., & Ajayan, P. M. (2004). Carbon nanotube filters. *Nature Materials*, 3(9), 610–614. <https://doi.org/10.1038/nmat1192>
- Stepanova, M., Luizar, O., Antonova, E. E., Bosqued, J. M., & Kovrazhkin, R. A. (2002). Morphology of high latitude auroral electron precipitations obtained by the Aureol-3 satellite. *Advances in Space Research*, 30(12), 2719–2724. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)80392-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)80392-1)
- Taylor, S. W., Fahy, E., Zhang, B., Glenn, G. M., Warnock, D. E., Wiley, S., ... Ghosh, S. S. (2003). Characterization of the human heart mitochondrial proteome. *Nature Biotechnology*, 21(3), 281–286. <https://doi.org/10.1038/nbt793>
- Taype Rondán, Á., Lajo Aurazo, Y., & Huamaní, C. (2012). Producción científica peruana sobre trastornos mentales en SciELO-Perú, 2006-2011. *Revista Médica Herediana*, 23(3), 166–171.
- Teki, R., Datta, M. K., Krishnan, R., Parker, T. C., Lu, T.-M., Kumta, P. N., & Koratkar, N. (2009). Nanostructured silicon anodes for lithium ion rechargeable batteries. *Small*, 5(20), 2236–2242. <https://doi.org/10.1002/sml.200900382>
- Thiel, R., Beck, A., & Smith, M. E. (2005). The value of geoelectric leak detection services for the mining industry. *Geotechnical Special Publication*, (130–142), 4353–4358. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-17044433391&partnerID=40&md5=3473f706e6469b70e28c2bc98e5b61d2>
- Thomé, A. M. T., Scavarda, A., Ceryno, P. S., & Remmen, A. (2016). Sustainable new product development: a longitudinal review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(7), 2195–2208. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1166-3>
- Torrealva, D., & Alza, A. (2016). Use of superficial reinforcement for reducing the seismic vulnerability of unreinforced masonry houses in Peru. *Brick and Block Masonry: Trends, Innovations and Challenges - Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference, IBMAC 2016*, 2161–2166. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016105566&partnerID=40&md5=ba552eca9b64525fa19a39da5e5385d2>
- Torrealva, D., Blanco, A., Tumialan, G., & Nanni, A. (2003). Seismic rehabilitation of cathedral towers in Peru. *Advances in Architecture*, 15, 523–532.
- Torres, F. G., Troncoso, O. P., Piaggio, F., & Hajar, A. (2010). Structure–property relationships of a biopolymer network: The eggshell membrane. *Acta Biomaterialia*, 6(9), 3687–3693. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.03.014>
- Tran, D. A., Hua, K. A., & Do, T. T. (2004). A peer-to-peer architecture for media streaming. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(1), 121–133. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2003.818803>
- Tran, P. D., Tran, T. V., Orío, M., Torelli, S., Truong, Q. D., Nayuki, K., ... Artero, V. (2016). Coordination polymer structure and revisited hydrogen evolution catalytic mechanism for amorphous molybdenum sulfide. *Nature Materials*, 15(6), 640–646. <https://doi.org/10.1038/nmat4588>

- Troncoso, O. P., Torres, F. G., & Grande, C. J. (2008). Characterization of the mechanical properties of tough biopolymer fibres from the mussel byssus of *Aulacomya ater*. *Acta Biomaterialia*, 4(4), 1114–1117. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.01.014>
- Trotta, D., & Garengo, P. (2017). *A co-word analysis on Human Resource Management literature : The role of technological innovation from 2007-2017*. 797–810.
- Tu, Y., Lv, M., Xiu, P., Huynh, T., Zhang, M., Castelli, M., ... Zhou, R. (2013). Destructive extraction of phospholipids from *Escherichia coli* membranes by graphene nanosheets. *Nature Nanotechnology*, 8(8), 594–601. <https://doi.org/10.1038/nnano.2013.125>
- Ulloa, A., Rodríguez, P., Jingyu Liu, Calhoun, V., & Pattichis, M. (2014). A quasi-local method for instantaneous frequency estimation with application to structural magnetic resonance images. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1477–1480. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943880>
- Van Berkel, P. H. C., Welling, M. M., Geerts, M., Van Veen, H. A., Ravensbergen, B., Salaheddine, M., ... Nibbering, P. H. (2002). Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. *Nature Biotechnology*, 20(5), 484–487. <https://doi.org/10.1038/nbt0502-484>
- Van Mieghem, P., & Kuipers, F. A. (2004). Concepts of exact QoS routing algorithms. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(5), 851–864. <https://doi.org/10.1109/TNET.2004.836112>
- Vaquero, J., Del Cuvillo, A., Torralba, E., Sánchez, J. L., Duro, J. M., & De La Rosa, A. (2014). Seismic design of the bridges and the tunnel of the project “Vía Parque Rímac”, Lima (Perú). *Engineering for Progress, Nature and People*, 2373–2380. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84929439163&partnerID=40&md5=d51edcbd9d2c7eaacf98632c9e6277e2>
- Varela Pinedo, L., Ortiz Saavedra, P. J., & Chavez Jimeno, H. (2003). Características de los trabajos científicos nacionales en geriatría y gerontología. 1980-2001. *Revista Médica Herediana*, 14(1), 18–25.
- Vargas-Neumann, J., Velásquez, J., Beas, M., & Navarro-Grau, P. (2006). Earthquake-resistant structural design guide: Retrofit conservation of Doctrinal Chapels of the Oyon region (Peru) based on performance criteria. *Proceedings of the International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, HWC 2006*, 2, 847–852.
- Vargas López, M. (1996). Análisis bibliométrico de fuentes documentales en la Revista de Psicología de la Pontificia Universidad Católica del Perú (1983-1992). *Revista de Psicología, Extraordina*, 79–134.
- Vargas Neumann, J., Sosa Cárdenas, C., Aguilar Vélez, R., & Yuste Miguel, B. (2016). Seismic retrofitting of San Pedro de Atacama church. *Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls - Proceedings of the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC 2016*, 1621–1624. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85002487052&partnerID=40&md5=7445679b56f3776e8e4bd573f832ca00>
- Vega-Arce, M., & Núñez-Ulloa, G. (2018). Experiencias adversas en la infancia: mapeo

bibliométrico de la literatura científica en la Web of Science. *Revista Cubana de Informacion En Ciencias de La Salud*, 29(1), 73–88.

- Vega, M. I., Medina, S. F., Quispe, A., Gómez, M., & Gómez, P. P. (2005). Influence of TiN particle precipitation state on static recrystallisation in structural steels. *ISIJ International*, 45(12), 1878–1886. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.1878>
- Viedma-Del-Jesus, M. I., Perakakis, P., Muñoz, M. Á., López-Herrera, A. G., & Vila, J. (2011). Sketching the first 45 years of the journal *Psychophysiology* (1964–2008): a co-word-based analysis. *Psychophysiology*, 48(8), 1029–1036. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01171.x>
- Vilcahuaman, L., & Castillon, C. (2003). A physical model of the human lung and its application to mechanic ventilation tests. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, 1*, 451–453.
- Walqui, H., Noriega, C., Partington, P., & Alvear, G. (2006). SPCC'S 1,200,000 TPA copper isasmelt. *2006 TMS Fall Extraction and Processing Division: Sohn International Symposium, 8*, 199–209. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33846089396&partnerID=40&md5=49622c4e038e46358b5078ad636de0be>
- Wang, Y., Azaïs, T., Robin, M., Vallée, A., Catania, C., Legriel, P., ... Nassif, N. (2012). The predominant role of collagen in the nucleation, growth, structure and orientation of bone apatite. *Nature Materials*, 11(8), 724–733. <https://doi.org/10.1038/nmat3362>
- Yan Zhao, Lam, J., & Huijun Gao. (2009). Fault detection for fuzzy systems with intermittent measurements. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17(2), 398–410. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2009.2014860>
- Yang, Y., Zhang, H., Lin, Z.-H., Zhou, Y. S., Jing, Q., Su, Y., ... Wang, Z. L. (2013). Human skin based triboelectric nanogenerators for harvesting biomechanical energy and as self-powered active tactile sensor system. *ACS Nano*, 7(10), 9213–9222. <https://doi.org/10.1021/nn403838y>
- Yu, Z., Li, L., Zhang, Q., Hu, W., & Pei, Q. (2011). Silver nanowire-polymer composite electrodes for efficient polymer solar cells. *Advanced Materials*, 23(38), 4453–4457. <https://doi.org/10.1002/adma.201101992>
- Zanello, L. P., Zhao, B., Hu, H., & Haddon, R. C. (2006). Bone cell proliferation on carbon nanotubes. *Nano Letters*, 6(3), 562–567. <https://doi.org/10.1021/nl051861e>
- Zenteno, O., Castaneda, B., & Lavarello, R. (2016). Spectral-based pneumonia detection tool using ultrasound data from pediatric populations. *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 4129–4132. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591635>
- Zheng, Q., Zhang, H., Shi, B., Xue, X., Liu, Z., Jin, Y., ... Wang, Z. L. (2016). In vivo self-powered wireless cardiac monitoring via implantable triboelectric nanogenerator. *ACS Nano*, 10(7), 6510–6518. <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b02693>
- Zvietcovich, F., Castaneda, B., Valencia, B., & Llanos-Cuentas, A. (2012). A 3D assessment

tool for accurate volume measurement for monitoring the evolution of cutaneous Leishmaniasis wounds. *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2025–2028.*
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346355>

