



## VIGILANCIA TECNOLÓGICA APLICADA A NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA EN PAÍSES DE LATINOAMÉRICA

Patricio Vargas Cantín, pvargas@fis.utfsm.cl  
Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680  
Valparaíso, Chile

Ivette Ortiz Montenegro, iortiz@iale.cl  
IALE Tecnología Chile, 1 poniente 1206,  
Viña del Mar, Chile

Víctor Rojas Maturana, vrojas@iale.cl  
IALE Tecnología Chile, 1 poniente 1206,  
Viña del Mar, Chile

### Summary

Trends and last advances in science and technology require the application of modern tools and techniques to generate structured and useful knowledge.

The present status and the dynamics of the information in the actual field can be accessed through processes of technological survey, capture, processing, analysis and visualization of information. With this purpose, we performed a scientometric study of the Chilean scientific production. Another Latin American countries and other three countries overseas were also taken into account as a reference to Chilean scientific reality. The study was lead by Dr. Patricio Vargas from the Physics department of the Universidad Tecnica Federico Santa Maria.

The study included the scientific productivity in indexed journals throughout the last 10 years. The searched areas were nanoscience and nanotechnology, constituting the knowledge-corpus that were analyzed and mapped with data mining tools.

The main conclusion of this work is that the actual quantity of scientist working in nanoscience is insufficient to reach technological development in the near future. In order to design scientific policies in areas such as nanoscience and nanotechnology, as well as in other technological areas, one of the main recommendations that emerge from this work is that this kind of survey techniques have to be applied in a systematic and continuous way by the people involved in science and technology policy.

**keywords:** Technology Monitoring, data mining, nanoscience, nanotechnology, *technological watching*,

## Resumen

La permanente necesidad de conocer los últimos avances de la ciencia y las tendencias tecnológicas requieren de la aplicación de modernas herramientas y técnicas para la generación de conocimiento.

A través del proceso de Vigilancia Tecnológica, de captura, tratamiento, análisis y visualización de la información, es posible obtener el estado actual y la dinámica experimentada por el área de estudio a través de los años. Precisamente, con este propósito se realizó un estudio cuantitativo de la producción científica de Chile, otros países latinoamericanos y tres países referentes, dirigido por el académico Patricio Vargas, del Departamento de Física de la Universidad Técnica Federico Santa María.

En este estudio se utilizó la producción científica en revistas indexadas a través de los últimos 10 años en el área de la nanociencia y nanotecnología, para crear los corpus de información que fueron analizados y mapeados con herramientas de Datamining.

Como conclusión general se reconoce que la cantidad de científicos activos en nanociencias es insuficiente como para alcanzar un desarrollo tecnológico a corto plazo. La necesidad de aplicar estas técnicas de manera sistemática para el diseño de las políticas nacionales en nanociencia y nanotecnología, así como en otras áreas del conocimiento, es una de las principales recomendaciones de este trabajo.

**Palabras Claves:** Vigilancia Tecnológica, Minería de datos Nanociencia, Nanotecnología.

## Introducción

En términos muy generales, nanociencia es el estudio de los fenómenos a escalas del nanómetro, o sea una millonésima parte de un milímetro. Esto involucra la manipulación de materiales a escalas atómicas, moleculares y macromoleculares, donde las propiedades difieren en forma significativa de aquellas a escalas mayores (dominan los efectos de la física cuántica). Por otra parte, la nanotecnología consiste en el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas controlando la forma, tamaño y funcionalidad a escalas nanométricas.

La nanotecnología, como disciplina emergente de la ciencia ha sido, en los últimos años, objeto de análisis y estudios bibliométricos en todo el mundo (Noyons et al., 2003; Alonso & Sánchez, 2006; Arancibia & Araujo, 2005) y estudios internacionales, principalmente de tipo prospectivo (Carlac'h, D. and Hemery, Y., 2004), relacionados con nanotecnología, que dan a conocer las tendencias económicas y tecnológicas mundiales de esta área.

Sin embargo, en la revisión de la literatura no se encontró un estudio que entregara el marco general o comparativo de los países latinoamericanos y en particular de Chile en estas materias. Por el contrario la existencia de un estudio de mapeo a nivel europeo (Mapping Excellence in Science and Technology across Europe Nanoscience and Nanotechnology,) motivó la necesidad de conocer la

realidad latinoamericana utilizando las mismas técnicas de análisis cuantitativo del informe mencionado.

En este último estudio, se realizó un extensivo análisis de publicaciones y patentes en nanotecnología durante el periodo 1996-2000. Los países incluidos corresponden a todos los integrantes de la comunidad europea y otros países asociados. El análisis de patentes se basó en los datos recogidos de la Oficina Europea de Patentes EPO (European Patent Office). Entre las principales conclusiones se obtuvo que las tendencias en las publicaciones difieren considerablemente de las de patentes. La comunidad europea (EU) exhibe la mayoría de las publicaciones, sin embargo en patentes, Estados Unidos es más activo, particularmente en los años más recientes. En principio, acusa el estudio, "el potencial de la nanotecnología en aplicaciones tecnológicas es alto, pero para los países de la EU todavía es un área que se encuentra en una etapa inicial de desarrollo, esto es reflejado en el moderado número de patentes".

Cabe señalar inmediatamente, que según las ecuaciones de búsqueda utilizadas, en las colecciones de patentes de US, con Chile como país del titular, no se encontró ninguna patente en el área de Nanotecnología, por lo que este estudio se limita a Nanociencia.

## 1. Parámetros del presente estudio

El estudio se inicia con la definición de los campos de búsqueda, para reunir los documentos relevantes que permitan construir los mapas en base a los datos obtenidos de dichos documentos, e identificar a los principales actores en nanociencia y nanotecnología y finalmente, una etapa de validación de los resultados obtenidos con los especialistas temáticos.

La búsqueda y descarga de información se realizó desde el sitio Web de “ISI Web of Science”. Este es un portal que ofrece la posibilidad de hacer búsquedas en todo el contenido de las bases de datos bibliográficas multidisciplinarias del “Institut of Scientific Information” (ISI).<sup>1</sup> Esta es una Base de Datos referencial y su período de actualización es semanal. Cabe destacar que el contenido de la base de datos ISI, si bien es cierto es bastante amplio y reconocido, no cubre la totalidad de las revistas en el área de Nanociencia, en particular no incluye muchas de las revistas del área biológica y las médicas.

La estrategia de búsqueda se construye en base a una o varias palabras claves. Para este estudio se utilizó “*nano\**”, con el truncador “\*”, logrando de esta manera cubrir todas las terminaciones posibles. Sin embargo, esta generalización puede traer consigo resultados con pequeñas distorsiones al considerar entre sus registros resultados tales como por ejemplo “*nanosecond*”, “*nanomole*” o “*NaNO3*”, términos que no guardan relación con los fines de este estudio. En este punto cobra vital importancia la tarea de validación de los documentos seleccionados, en conjunto con los especialistas temáticos. Se incluyeron también, como palabras claves, los términos: “*Sistemas Cuánticos*” y “*Puntos Cuánticos*”. Debemos mencionar aquí, que en este estudio preliminar, no hemos incluidos todos los topics pertenecientes a nanociencia, y que usualmente no se indexan con el prefijo “nano”. Por ejemplo, los trabajos acerca de “*exchange-bias*”, fenómeno magnético que ocurre en láminas muy delgadas (nanométricas), no estarían incluidos en esta búsqueda. Así se nos hizo ver durante el primer taller Chileno de nanotecnología, realizado durante el mes de Mayo 2006. Finalmente, dejando esto en claro, la ecuación utilizada fue:

$$(TS=nano* OR TS="quantum system*" OR TS="quantum dot*") AND CU=...$$

donde *TS* corresponde al “Tópico de Búsqueda” (Topic Search) y *CU* (CoUntry) el “País” en particular en el cual buscar.

La Tabla 1 muestra la cantidad de documentos encontrados como resultado de la ecuación de búsqueda definida.

Tabla 1. Resultados obtenidos para la ecuación de búsqueda en cada país

Países (CU)	1986-2006
Corea*	7.786
España*	5.192
Brasil	2.530
México	1.268
Finlandia*	1.173
Argentina	768
Chile	271

Debido a la cantidad de registros encontrados en Corea y España, se realizó una nueva búsqueda para estos países restringiendo la cantidad de años al período 2004-2006, de tal forma de disminuir la cantidad de registros para el análisis posterior. Los resultados de estas nuevas búsquedas, fueron 4.298 y 2.008 para Corea y España respectivamente.

Las herramientas de software del tipo minería de datos, utilizadas para el análisis de la información obtenida, fueron *Tetralogie* que forma parte de la estación cuantitativa ATLAS/IRIT Toulouse, Francia y *Mathéo Analyzer* C.R.R.M. de la Universidad de Marsella, Francia. Las técnicas de análisis utilizadas por estos software se basan en recuentos simples, concurrencias y métodos matemáticos multivariados.

## 2. Análisis y resultados para Chile

Haciendo uso del total de publicaciones indicadas en la tabla 1, el primer análisis se centró en la identificación de líderes. A saber, instituciones, investigadores, países y fundamentalmente, las líneas temáticas emergentes.

Una vez identificados los líderes se busca conocer las relaciones de interés, tales como: redes de colaboración entre investigadores, alianzas estratégicas entre instituciones, cluster temáticos (grupos de temas o líneas de investigación) y perfiles científicos (instituciones-temas). Para la visualización de los resultados se utilizan histogramas, matrices, grafos y mapas tecnológicos.

1 <http://www.isiwebofknowledge.com>

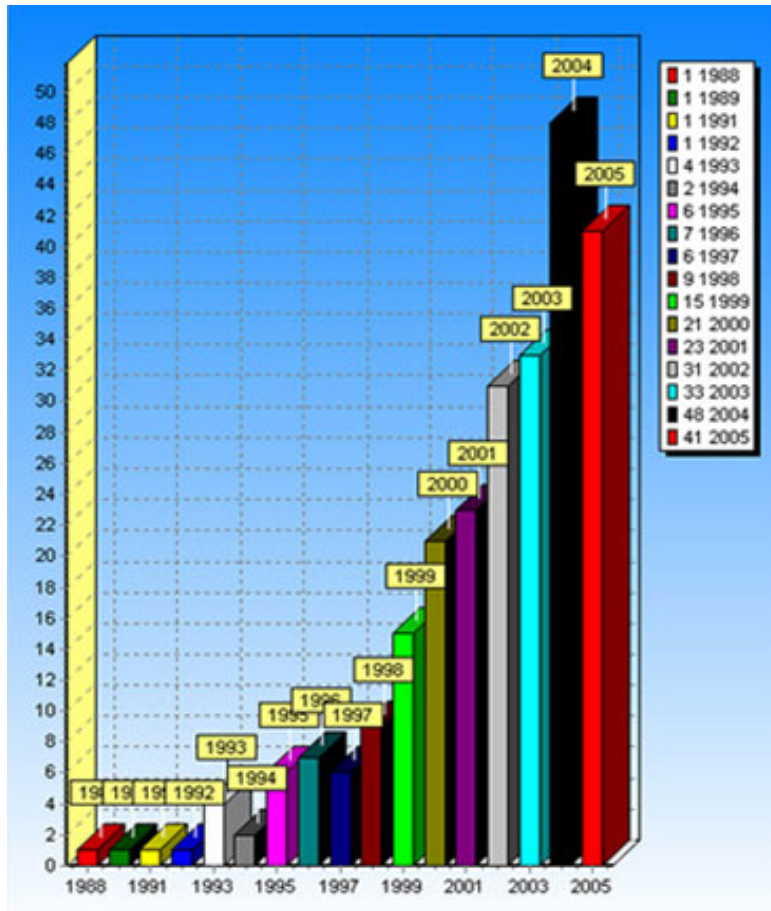
## 2.1 Evolución de las publicaciones

A continuación se muestran los resultados obtenidos del estudio cuantitativo de las publicaciones indexadas realizadas por investigadores de instituciones chilenas sobre nanotecnología y nanociencia, durante el periodo 1986-

2006, utilizando la Base de Datos de “ISI Web of Science”.

La siguiente gráfica muestra sin lugar a dudas la tendencia creciente de la producción científica nacional en revistas indexadas a través de los años en el área de la nanociencia y nanotecnología.

Figura 1. Evolución de las publicaciones indexadas sobre nanociencia y nanotecnología en Chile



## 2.2 Investigadores líderes

La siguiente tabla muestra los investigadores y su afiliación

con mayor número de publicaciones científicas según la estrategia de búsqueda diseñada.

Tabla 2. Campos seleccionados para el análisis y sus respectivos significados

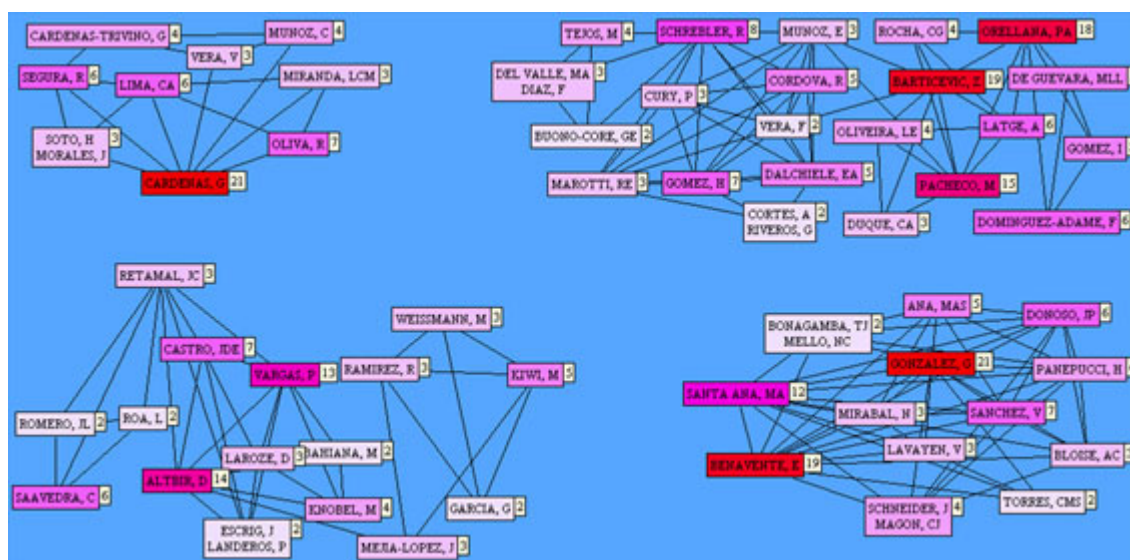
Nombre del investigador	Número de publicaciones	Nombre de la Institución
CARDENAS, G	21	Universidad de Concepción
GONZALEZ, G	21	Universidad de Chile
BENAVENTE, E	19	Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad de Chile
BARTICEVIC, Z	19	Universidad Técnica Federico Santa María
ORELLANA, PA	18	Universidad Católica del Norte Universidad Técnica Federico Santa María
PACHECO, M	15	Universidad de Santiago
ALTBIR, D	14	Universidad Técnica Federico Santa María
VARGAS, P	13	Universidad de Chile
SANTA ANA, MA	12	Pontificia Universidad Católica de Chile
CLARO, F	10	

El Dr. Galo Cárdenas pertenece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción. Por su parte el Dr. Guillermo González G. pertenecen a la Universidad de Chile. Los temas en los que publican estos investigadores se podrán observar en los siguientes grafos de autores-temas.

## Redes de colaboración entre investigadores

La existencia en Chile de redes de investigadores asociados formal o informalmente a temas de interés común, refleja la existencia de una comunidad científica activa, aunque pequeña, en temas de nanociencia y nanotecnología.

Figura 2. Redes de colaboración entre investigadores





### 2.3 Instituciones líderes

Las dos primeras con una producción científica importante y evolución positiva a través de los años son: Universidad

de Chile (59) y Universidad de Concepción (53). En la Tabla 3 se puede observar el comportamiento de las publicaciones a través de los años de todas las instituciones con frecuencia mayor a 5.

Tabla 3. Comportamiento de las publicaciones por años según instituciones

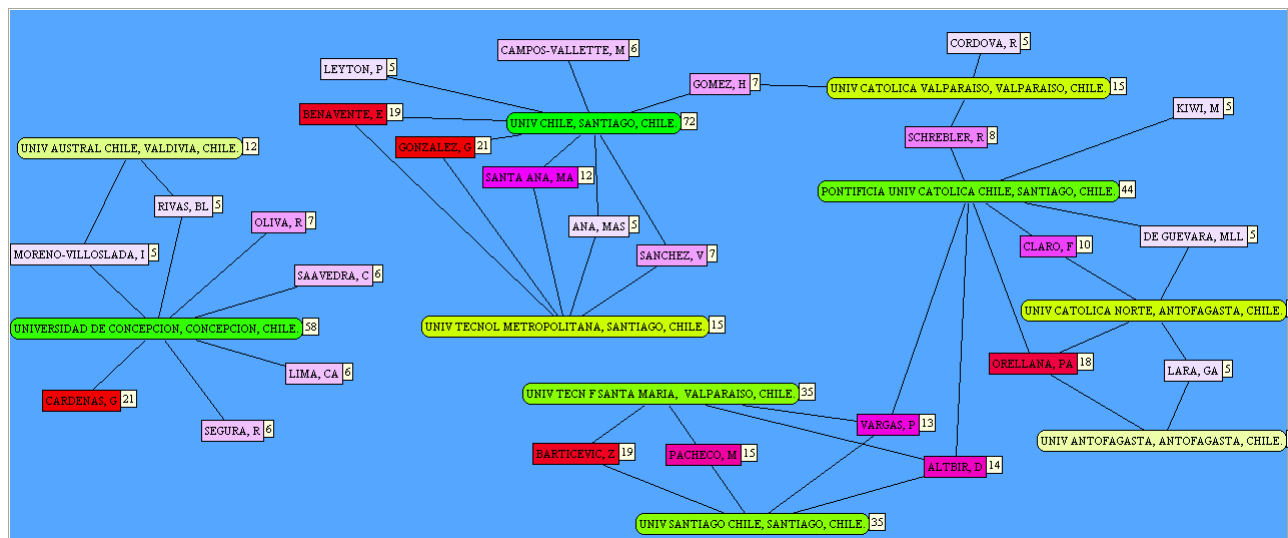
Instituciones	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
Univ. de Chile, Santiago.		1	3	1	1	2	7	4	8	6	10	16	59
Univ. de Concepción, Concepción.		1		1	1	3	8	6	5	7	15	6	53
Pontificia Univ. Católica de Chile, Santiago.		1			4	2	2	3	6	5	8	9	40
Univ. de Santiago de Chile, Santiago.				1	2	3	1	5	7	8	3	4	34
Univ. Técnica Federico Santa María, Valparaíso.				2	1	3	1	4	4	5	6	7	33
Univ. Católica del Norte, Antofagasta.						1	1		3	8	3	2	18
Univ. Católica de Valparaíso, Valparaíso.					1	1		2	4	1	1	4	14
Univ. Tecnológica Metropolitana, Santiago.						1	3	1	3	2	3		13
Univ. Austral de Chile, Valdivia.								1	4		7		12
Univ. de Antofagasta, Antofagasta.						1	1	1	2	3		1	9
Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago.	1	1			2				2	1			7
Univ. Austral de Chile, Puerto Montt.							1	1			3		5

### Relación entre instituciones y autores líderes

La Figura 3 muestra la relación entre las instituciones y los

investigadores. Se puede apreciar en la figura, redes de colaboración entre instituciones y a la vez, institución vinculadas a los autores líderes destacados en rojo.

Figura 3. Relación entre instituciones y autores líderes, ejemplo.



## 2.4 Principales contenidos científicos

Los contenidos científicos correspondiente a los temas centrales de las publicaciones, se extraen a partir de las palabras claves contenidas en el campo descriptor (DE) de la base de datos. En este campo se encuentra una lista estandarizada de términos que forman parte del Tesauro de la base de datos.

El recuento inicial contiene 474 descriptores, de los cuales se seleccionaron los 15, de mayor frecuencia de aparición en el periodo de tiempo considerado. En la Tabla 4 se puede ver el comportamiento de estas temáticas a través de los años.

Tabla 4. Términos del campo Descriptor a través de los años.

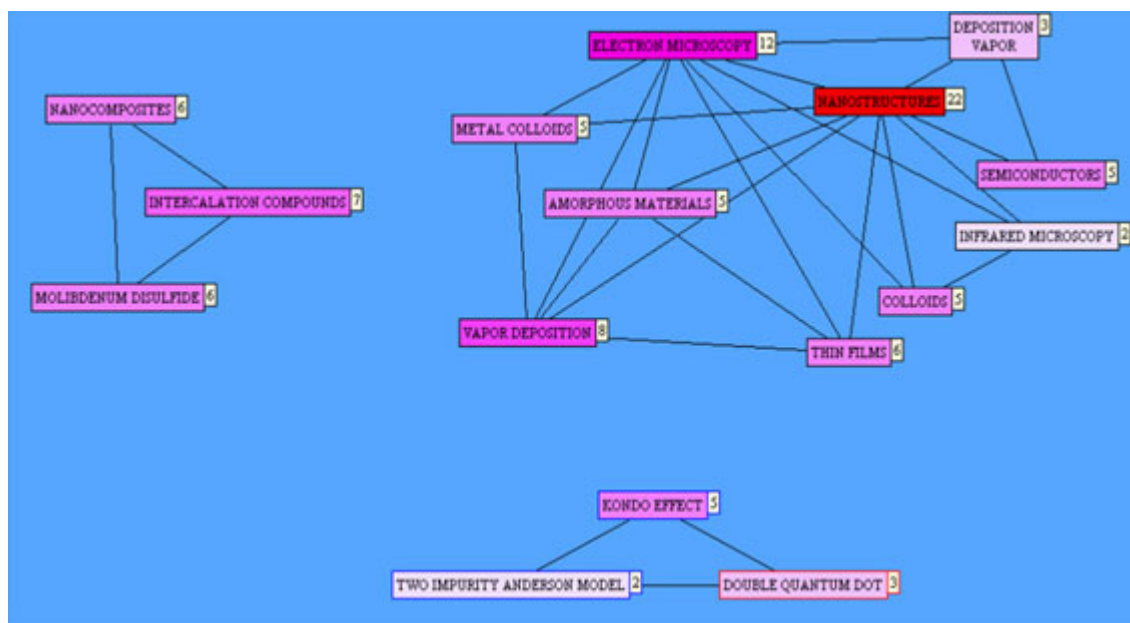
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
NANOSTRUCTURES	1	1	1	2	4	4	1	2	2	2	20
ELECTRON MICROSCOPY		1	1	1	3	1		2	2	1	12
QUANTUM DOTS			1				1	3		3	8
VAPOR DEPOSITION		1	1	1	2	1		2			8
INTERCALATION COMPOUNDS	1				1	1	2		1		6
THIN FILMS		1	1	2	1				1		6
MOLIBDENUM DISULFIDE					2	1	3				6
NANOCOMPOSITES	1				2	1	1				5
NANOPARTICLES					1	1	1			2	5
KONDO EFFECT							1	3		1	5
COLLOIDS					1	1		1		2	5
METAL COLLOIDS					1	2		1	1		5
AMORPHOUS MATERIALS		1		1	2		1				5

Los términos destacados corresponden a los cuatro términos con mayor frecuencia de aparición durante el periodo 1996-2005. Como se puede apreciar, el término “nanostructures” muestra una presencia permanente a través de los años, mientras que “quantum dots” es un término nuevo con frecuencias altas, lo que se puede interpretar como un alto

interés de parte de la comunidad científica en utilizar este concepto, entendiendo que la comunidad a la cual se alude consta de unas pocas personas.

Las relaciones que se establecen entre los distintos términos claves, se observan en el siguiente grafo.

Figura 4. Relaciones entre áreas de investigación en Nanotecnología



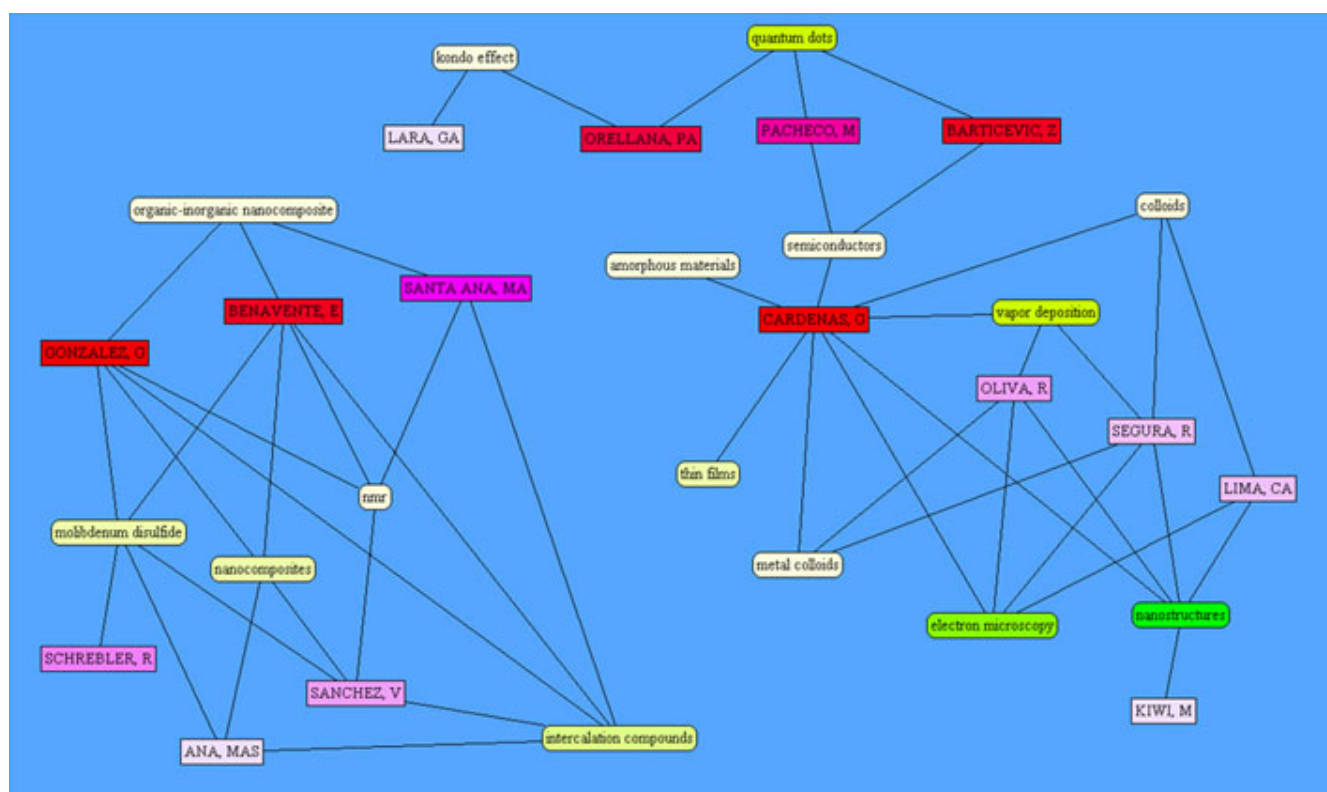
Se observa que hay tres grupos, de los cuales el que vincula a “nanostructures”, es el mas fuerte. Los otros dos están compuestos por:

“kondo effect”-“doble quantum dot” - “two impurity anderson model”, básicamente trabajos teóricos de física cuántica. En cambio, “nanocomposites”, molidenum

disulfide”-“intercalation compounds”, se refieren mayoritariamente a trabajos de tipo experimental.

En la Figura 5 se identifican los autores vinculados a las distintas temáticas. Se visualiza de esta forma, por ejemplo que el Dr. González trabaja en “nanocomposites”

Figura 5. Autores líderes con presencia en las distintas temáticas, ejemplo.



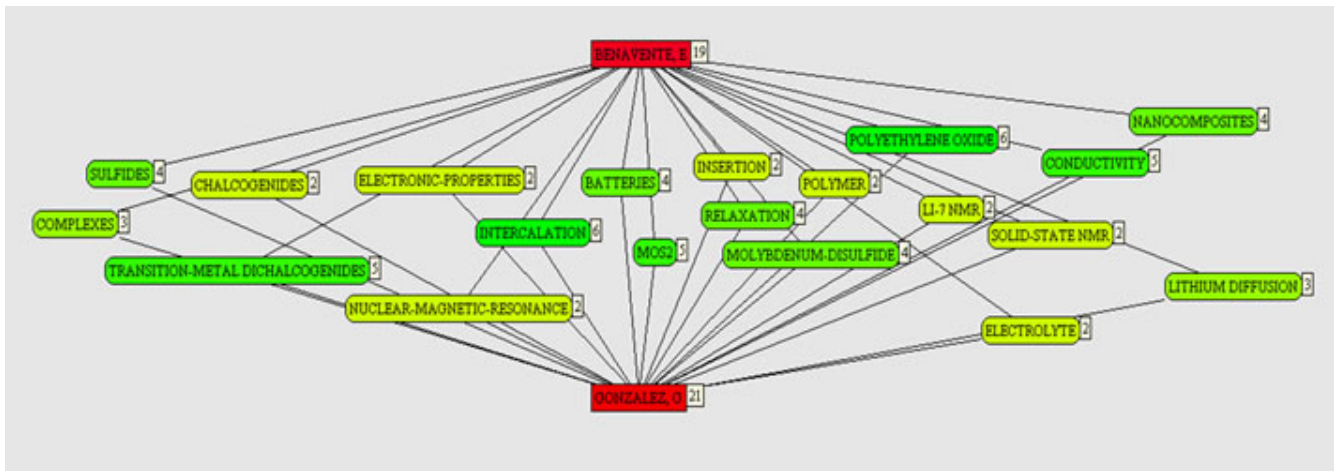
En este tipo de gráfico, la información puede servir, entre otros aspectos, para identificar posibles conexiones entre diferentes grupos. Así por ejemplo, se ve que existe un puente común entre los grupos, Barticevic, Pacheco y Orellana (todos Físicos) con el grupo de Cardenas (Química) en lo que tiene que ver con semiconductores en

Nanociencia. Aquí se podría fácilmente comenzar una relación multidisciplinaria.

Más en detalle, por ejemplo, el siguiente grafo muestra las áreas temáticas de Guillermo González y Benavente E, Universidad de Chile.



Figura 6. Áreas temáticas de dos autores líderes, ejemplo.



### 3. Mapas Tecnológicos en países referentes

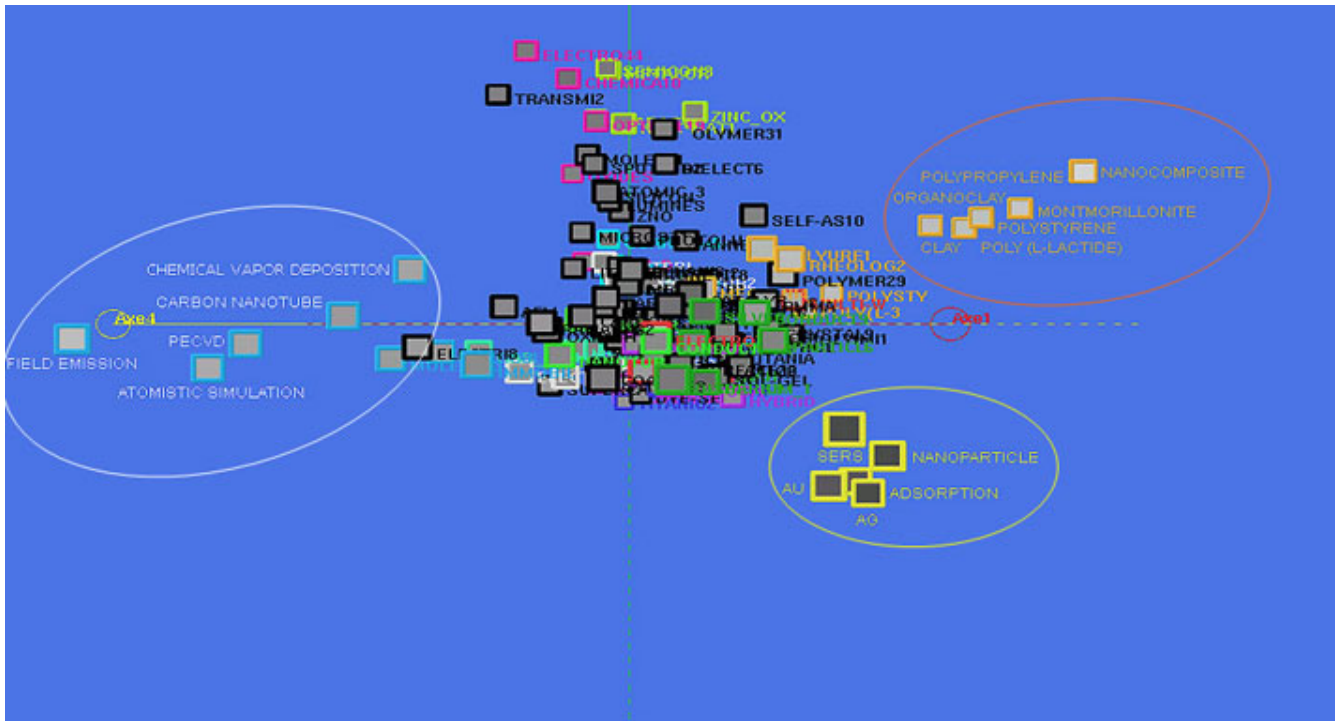
Los mapas Tecnológicos son representaciones visuales de la tecnología en un determinado campo de conocimiento. Permiten descubrir interesantes relaciones, a través de la cercanía/lejanía de un tema o grupo de temas. Por ejemplo para la identificación no obvia de cluster temáticos.

#### 3.1 Clúster temático de las palabras claves en publicaciones científicas de *Corea del Sur*

La siguiente gráfica muestra el resultado de un Análisis de Componentes Principales (ACP), sobre las palabras claves<sup>3</sup>, contenido en las publicaciones científicas de Corea del Sur.

<sup>3</sup> campo Descriptores de la base de datos ISI

Figura 7. Clúster temático para el campo DE en Corea del Sur



Este Mapa muestra que si bien existe una clara concentración (centro) de palabras relacionadas entre sí, hay algunos Cluster (grupos de palabras cercanas) que se distinguen del total. En blanco el grupo formado por: Chemical vapor deposition, Carbon nanotube, PECVD, Atomistic Simulation, Field emisión, da cuenta de un área

relacionada con crecimiento de compuesto de Carbono. El grupo en amarillo: Nanoparticles, Adsorption, Ag, Au, Sers, se refiere a temas de investigación con alta aplicabilidad tecnológica en diferentes campos, por lo que en el último tiempo están cobrando mucho interés.

### 3.2 Clúster temáticos (ACP campo DE) – País Referente: España

Figura 8. Clúster temático para el campo DE en España.



### 4. Resultados Comparativos

Áreas temáticas principales (Campo DE)

En la Tabla 5 se comparan los descriptores obtenidos para dos países de Latinoamérica respecto de los países definidos como referentes en el estudio. Se puede ver que

España y Corea tienen igual clasificación de términos claves ordenados por frecuencia de aparición. Chile y Argentina comparten el término “Nanestructures” como principal dentro de sus investigaciones y que este término está dentro del ranking de referencia evidenciando la relevancia de este tema a nivel mundial.

Tabla 5. Resultados comparativos para el Campo DE

Chile	Argentina	España	Corea
22 NANOSTRUCTURES	NANOSTRUCTURES	29 86 NANOPARTICLE	NANOPARTICLE 119
12 ELECTRON MICROSCOPY	NANOPARTICLES	21 39 NANOSTRUCTURE	NANOCOMPOSITE 116
8 QUANTUM DOTS	KONDO EFFECT	9 36 CARBON NANOTUBE	CARBON NANOTUBE 107
8 VAPOR DEPOSITION	SUPERPARAMAGNETISM	9 31 NANOCOMPOSITE	NANOSTRUCTURE 79
7 INTERCALATION COMPOUNDS	ADSORPTION	8 25 QUANTUM DOT	QUANTUM DOT 56
6 THIN FILMS	MOSSBAUER SPECTROSCOPY	8 15 GOLD	ELECTROSPINNING 48
6 MOLIBDENUM DISULFIDE	BALL MILLING	7 15 MICROSTRUCTURE	PHOTOLUMINESCENCE 44
6 NANOCOMPOSITES	SPECTROSCOPY	7 15 MAGNETIC PROPERTIES	TiO2 27
5 NANOPARTICLES	CARBON NANOTUBES	6 13 ATOMIC FORCE MICROSCOPY	NANOTUBE 23
5 KONDO EFFECT	COMPOSITE	6 12 GAS SENSOR	SELF-ASSEMBLY 23
5 COLLOIDS	FERROMAGNETIC RESONANCE	6 12 PHOTOCATALYSIS	FIELD EMISSION 21
5 METAL COLLOIDS	HEMATITE	6 12 NANOCRYSTALLINE	MICROSTRUCTURE 20
5 SEMICONDUCTORS	MATERIALS	6 12 MECHANICAL PROPERTIES	ZNO 19
5 AMORPHOUS MATERIALS	MOSSBAUER	6 12 PHOTOLUMINESCENCE	MECHANICAL PROPERTIES 19
4 NMR	AMORPHOUS ALLOY	5 12 NANOTUBE	OPTICAL PROPERTIES 19
4 ORGANIC-INORGANIC NANOCOMPOSITE	BIOSENSOR	5 12 MECHANICAL ALLOYING	MORPHOLOGY 19
		12 NANOFILTRATION	HARDNESS 18
		11 ADSORPTION	NANOCRYSTALS 17
		11 TiO2	NANODENTATION 17

También se observa, por ejemplo, que en España, el término Electrospinning no es revelante, sin embargo en Corea es un área altamente activa en Nanociencia-nanotecnología. Esto se encuentra relacionado a la producción de fibras a partir de colágeno inyectado bajo alto voltaje respecto de una superficie móvil. Además, por ejemplo, en Corea el estudio del Oxido de Titanio,  $TiO_2$  es más prioritario o relevante que en España, a pesar de que ambos países investigan en ese material.

## 5. Conclusiones

- Este es el primer estudio acerca de la actividad Chilena en Nanociencia/Nanotecnología.
- Es un estudio preliminar en el sentido que no se ha hecho exhaustivamente con todos los temas que científicos chilenos estudian y que no se indexan con los prefijos utilizados en esta búsqueda.
- El número de publicaciones en Nanociencia ha crecido exponencialmente durante los últimos 10 años.
- El número de investigadores involucrados en Nanociencia en Chile es muy reducido, es del orden de 10 científicos, con un número de 10 o más publicaciones en el lapso de tiempo buscado. Este número es absolutamente insuficiente bajo cualquier punto de vista. Aún sería insuficiente si incluyendo otros temas no indexados propiamente, tal como mencionáramos en la introducción este número, se duplicara.

Química y Física son las disciplinas que más han publicado en nanociencia y las áreas más activas en nanociencia son en general las “nanoestructuras”.

Como conclusión general podemos decir que este estudio, demuestra claramente que Chile necesita una política agresiva de apoyo en Nanociencia, sobre todo en la formación de nuevas generaciones de científicos.

Este estudio no contempló un análisis más profundo del aspecto tecnológico. Sabemos, por los temas tratados en el primer congreso de Nanotecnología ([www.nanotecnologia.cl](http://www.nanotecnologia.cl)), que existe ciertos desarrollos puntuales en nanotecnología, en el área de los nanocementos y en la producción de nanoalambres y nanopartículas de Cobre en gran escala. Pero el hecho que no encontramos patentes en el área, nos demuestra que la situación es más precaria que en Nanociencia.

El gobierno de Chile a través de programas como el PBCT (Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología) u otros, deben dar un fuerte apoyo a la formación de personas especializadas y de iniciativas en este sentido.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda financiera del proyecto P02-054F de la iniciativa científica Milenio.

## 6. Referencias Bibliográficas

[1] Escorsa Castells, Pere, Valls Pasola, Jaime, “Tecnología e innovación en la empresa”, Ediciones UPC, 1997.

[2] Alonso Andaluz, Joaquín, Sánchez Páramo, Jaime, “Nanotecnología en España”, Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología, Número 34, Enero-Febrero 2006.

[3] E.C.M. Noyons, R.K. Buter, A.F.J van Raan, “*Mapping Excellence in Science and Technology across Europe Nanoscience and Nanotechnology*”, Centre for Science and Technology Studies (CWTS), Leiden University, Netherlands, October 2003.

[4] Arencibia Jorge R, Araujo Ruiz JA, Torricella Morales RG. “La Nanotecnología como disciplina científica: un estudio bibliométrico del Web of Science en el periodo 1987-2004”. *Acimed* 2005;13(4). Disponible en: [http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13\\_4\\_05/aci04405.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13_4_05/aci04405.htm) Consultado: 04/08/2006.

[5] Dominique Carlac’h, Yves Hemery, “Etude Prospective sur les Nanomatériaux, Développement & conseil, Mayo 2004.

[6] Nanomaterial roadmap 2015. Overview on Promising Nanomaterials for Industrial Applications. Proyecto nanomat (VI Programa Marco de la Comunidad Europea). <http://www.nanoroad.net/>