

## **BÚSQUEDA TECNOLÓGICA SOBRE PROCESOS DE POLIMERIZACIÓN EN BRASIL**

***Fernando Reis da Cunha<sup>1\*</sup>, Maurício Bezerra de Souza Jr.<sup>2</sup>, Rossana Odette Mattos Folly<sup>2</sup>***

1) Centro de Investigaciones de la Petrobras – CENPES, Av. Horacio de Macedo, 950, CEP 21491-915, Ciudad Universitária, Isla de Fundão, Rio de Janeiro, Brasil. Correo electrónico: [frcunha@petrobras.com.br](mailto:frcunha@petrobras.com.br)

2) Escuela de Química. Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ), Ciudad Universitaria, Centro de Tecnología, Bloque E, 2º piso, sala 209

*Recibido: Julio de 2007; Aceptado: Diciembre de 2007*

### **RESUMEN**

En este artículo los autores realizan una búsqueda bibliográfica sobre la producción de polipropileno en masa, simulación de los procesos de producción de este polímero, así como la utilización de redes neuronales aplicadas a polímeros. Estos tres temas se estudian a través de una técnica bibliométrica, capaz de localizar puntos de búsqueda rápidos y avanzados, autores con mayor número de publicaciones y desarrollo a lo largo de los años. Como conclusión se hace un análisis real de la interacción Universidad – empresas en Brasil.

***Palabras claves:*** *bibliometría, polipropileno, reacción en masa, redes neuronales, modelos.*

### **ABSTRACT**

In this paper the authors map the researches related to the production of bulk polypropylene, the processes modelling for the manufacturing of polypropylene and the use of neural networks applied to polymers. These themes are treated through a bibliometric analysis able to identify the most dedicated and advanced research poles all over the world, the most published authors and the evolution of their development through the years. In the end, there's a comment about the reality of the university-enterprises relation in Brazil.

***Key words:*** *bibliometric analysis, polypropylene, mass reaction, neural network, models.*

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda bibliográfica es una de las partes más importantes en cualquier proyecto de investigación. Gracias a ella se puede conocer en qué nivel de desarrollo está la tecnología en discusión, así como, identificar tendencias y las vías que son necesarias seguir para llegar a una innovación.

La búsqueda en artículos científico-técnicos, como se realiza normalmente en el medio académico, de un trabajo importante o de otro menos conocido, puede significar grandes pérdidas en contenido de aporte tecnológico. El análisis bibliométrico ayuda el desarrollo de la búsqueda bibliográfica. Las técnicas empleadas pueden ser utilizadas de manera muy simple por los usuarios de cualquier área de investigación.

Los polímeros pueden ser producidos mediante procesos en fase gaseosa, suspensión, solución y en masa, según las características deseadas del producto o facilidad en construirse un proceso económico [1].

Las tecnologías de *Basell*, *Boreales* y *Mitsui*, conocidas respectivamente, como *Spheripol*, *Borstar* y *HYPOL*, emplean la polimerización de propileno en masa y son muy utilizadas en el mundo, destacándose la primera, que es la tecnología de proceso de polimerización más utilizada para la producción de polipropileno [2].

El control de las reacciones de polimerización es difícil debido a la complejidad de los sistemas poliméricos. Se han realizado innumerables esfuerzos para disminuir este hiato tecnológico. Un ejemplo es la utilización de redes neurales como *softsensors*, una vez que se pueden inferir propiedades características de polímeros a partir de variables conocidas y de fácil determinación [3-6].

El objetivo de este estudio es la recopilación de datos mediante una revisión bibliográfica. Se usa la técnica de la bibliometría, que utiliza datos descriptivos para un determinado mecanismo de búsqueda.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron búsquedas en bancos de datos disponibles en Internet y se emplearon herramientas disponibles en estos mismos portales. Se tuvieron en cuenta tres áreas: “Polimerización en masa y polipropileno”, “polimerización y simulación” y “polimerización y

redes neuronales”.

La elección de la base de datos representa un papel muy importante para la comprensión del análisis, pues determina el contenido de la consulta bibliográfica. Los bancos de datos de la editora Elsevier, llamado *Science Direct*, de la *American Chemical Society (ACS)*, y el *Web of Science (ISI Knowledge)*, se consideran los de mayor número de publicaciones.

Para la búsqueda y el análisis de los datos se utilizó un Pentium IV, cuya velocidad es de 1,8 GHz y 250 Mb de memoria RAM. Los gráficos fueron obtenidos a partir de Excel, de Microsoft<sup>®</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cada uno de los temas “Polimerización en masa y polipropileno”, “Polimerización y simulación” y “Polimerización y redes neuronales”, están descritos separadamente.

**Polimerización en masa y polipropileno.** Pocos trabajos bibliográficos utilizan la polimerización en masa de olefinas. Una búsqueda en el banco de datos de *Elsevier, Science Direct* (<http://www.sciencedirect.com>) muestra como resultado 344 artículos desde 1956 hasta 2006. Las palabras utilizadas fueron “*Bulk Polymerization*”. Restringiéndose más la búsqueda, por ejemplo, añadiéndose el término “*Polypropylene*” el resultado da lugar a un número de publicaciones mucho menor. En este caso, sólo se han encontrado siete artículos. De la página de *American Chemical Society – ACS* (<http://pubs.acs.org>), para el mismo período y estrategia de búsqueda, resultan 90 artículos, pero cuando se focalizan los datos para el polipropileno, no se encuentra ningún artículo.

Si se utiliza la base de datos de *ISI Knowledge*, antiguo *Web of Science*, (<http://www.isiknowledge.com>) que es considerada la más completa de las tres consultadas, se han encontrado 4.317 artículos para el tema (TS) “*Bulk Polymerization*”. La lista se reduce a 105 artículos cuando se añade la palabra “*Polypropylene*” a la investigación. De nuevo, el período considerado ha sido desde 1956 hasta 2006, específicamente 29 noviembre de 2006.

No se puede afirmar, con los resultados alcanzados, que los trabajos de investigación sean sobre polimerización en masa del polipropileno, pero sí que en el texto del artículo publicado se puedan encontrar las expresiones utilizadas en las búsquedas. Se trata, por eso de una probabilidad del dominio del asunto deseado.

Un análisis detallado de los datos bibliográficos adquiridos permite una representación del

perfil de las publicaciones, según los gráficos mostrados en las Figuras 1 y 2.

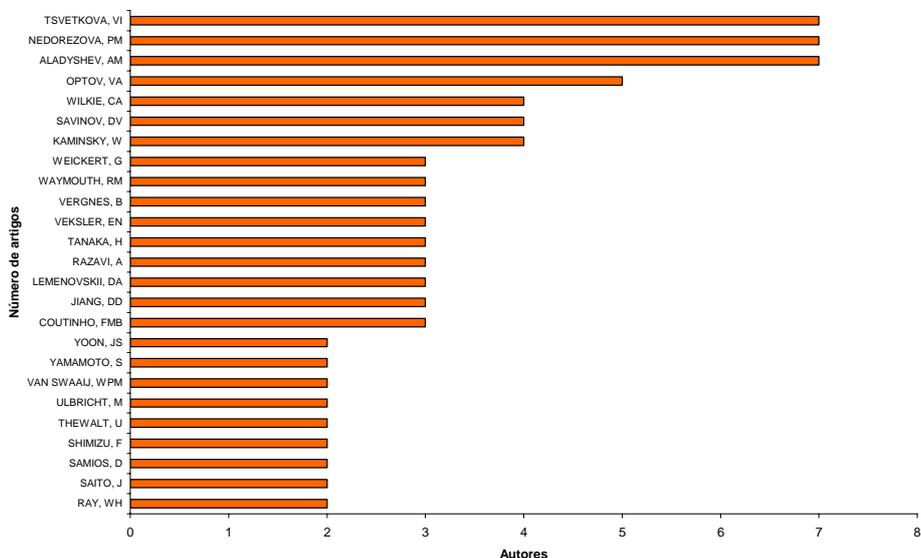


Figura 1. Número de artículos por autor.

Los autores que han publicado un mayor número de artículos de investigación son *Tsvetkova, Nedorezova y Aladys Hev*. Cada uno de ellos participa con siete trabajos sobre polimerización en masa del polipropileno. Hay cerca de 279 autores sólo con una publicación en esta área, pero estos datos no están contemplados en la Figura 1. Errores de inclusión en los bancos de datos deben ser considerados para el período de 2005 hasta 2004, o sea dos años anteriores. Los de 2006 aún no están completos.

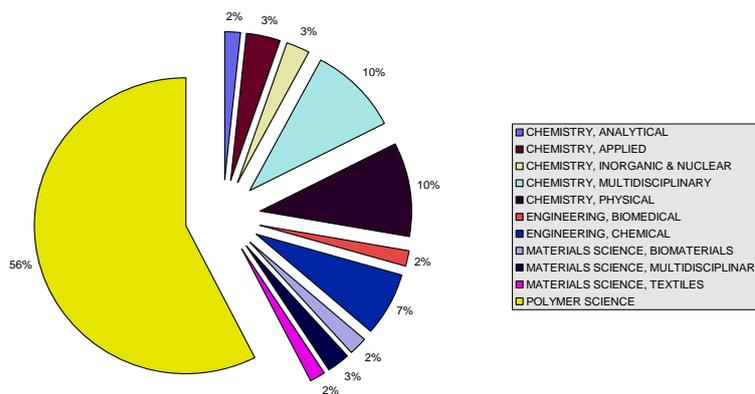


Figura 2. Clasificación de las categorías de los temas de las publicaciones.

Como muestra la Figura 2, en el área de la Ciencia de los Polímeros la más numerosa en cuanto a trabajos publicados tiene que ver con la polimerización en masa y el polipropileno. Esta representación posibilita un camino para la eliminación de algunos ítems del resultado que no están directamente relacionados con la polimerización en masa. Un ejemplo es la aparición de términos relacionados con la Química Analítica (2%) y la Ingeniería Biomédica (2%), conforme la Figura 2.

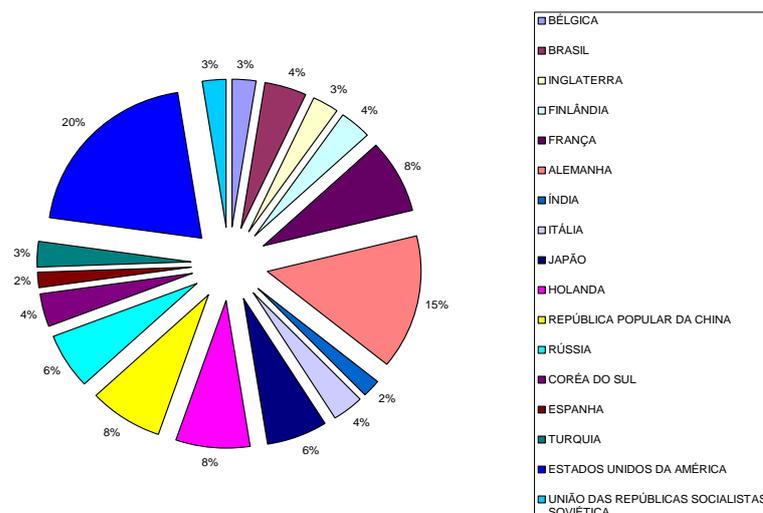


Figura 3. Número de publicaciones por país de origen.

Analizando las regiones donde se originan los artículos de investigación se puede medir lo que cada país invierte en investigación en el área analizada (véase la Figura 3). Brasil posee el 4% de las publicaciones, considerándose los parámetros utilizados en la búsqueda en el banco de datos. Comparándose a los primero y segundo lugares de la Figura 3, Brasil actúa de manera positiva, observándose la diferencia de recursos empleados en investigar y el interés de empresas en el desarrollo de tecnologías.

Muestra gran importancia la Academia de Ciencias de Rusia por su participación destacada entre las universidades y centros de investigación de todo el mundo (véase la Figura 4). Cerca de 10% de las publicaciones sse originan allí. La Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ) y la Escuela Federal de Ingeniería de Itajubá (FEI) son los mayores productores de artículos de investigación en esta área en Brasil.

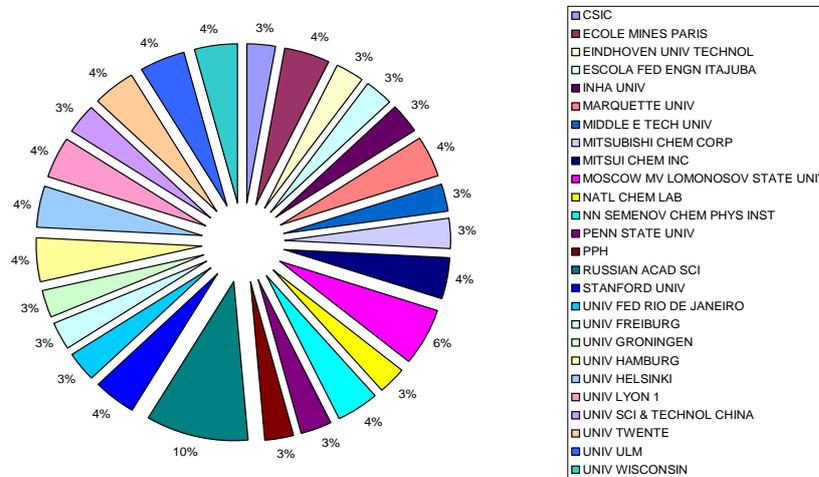


Figura 4. Número de publicaciones por institución investigada.

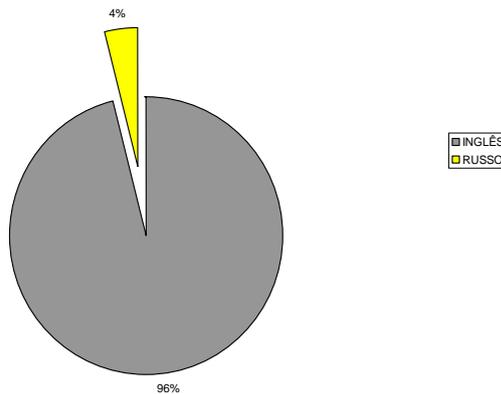


Figura 5. Idiomas utilizados en las publicaciones.

El inglés es el idioma más frecuentemente utilizado en las publicaciones, pero también hay artículos en ruso, chino y portugués. La Figura 5 muestra la relación entre los idiomas inglés y ruso. Las principales revistas donde se han encontrado las publicaciones pueden verse en la Figura 6. Se destacan entre ellas las siguientes: *Journal of Applied and Polymer Science*, *Polymer* y *Macromolecules*.

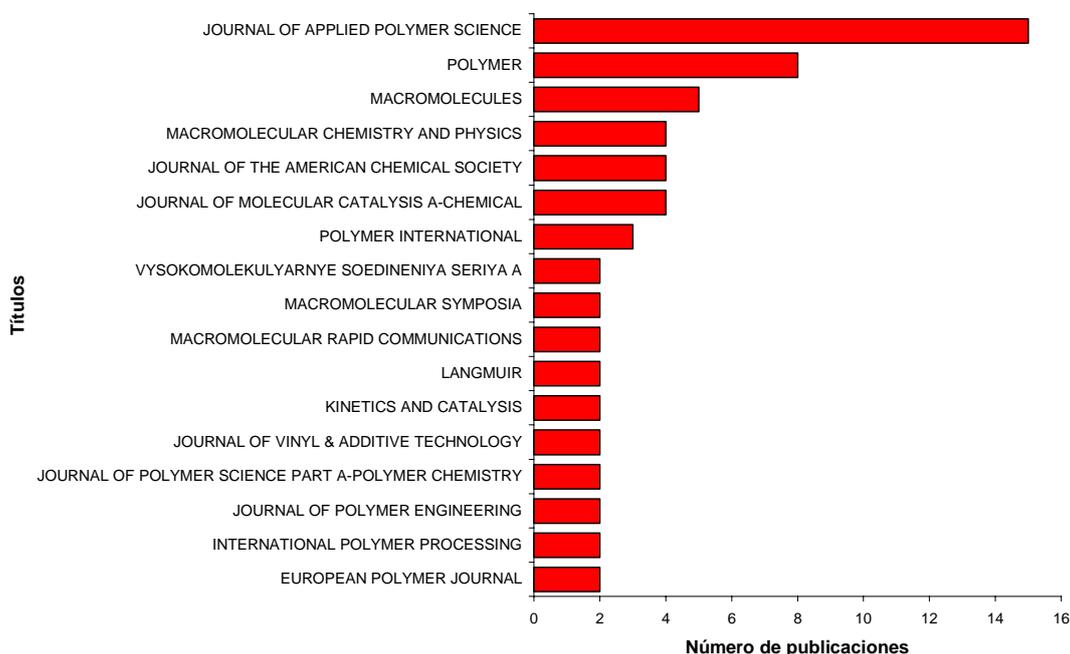


Figura 6. Número de publicaciones por revista indexada.

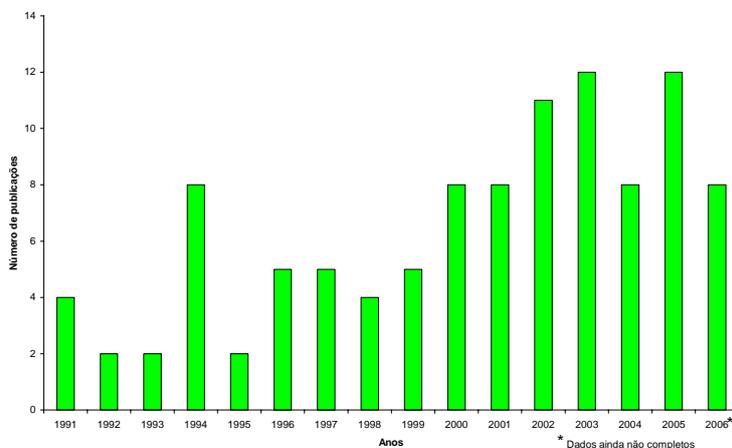


Figura 7. Número de trabajos de investigación publicados por año.

La Figura 7 muestra la evolución de las investigaciones alrededor del tema sugerido desde 1991, cuando se encontró el primer registro conteniendo los registros anteriormente citados, hasta 2006, año no considerado en su totalidad. Se puede observar el aumento significativo del número de trabajos publicados, pero no se puede decir que la tecnología se encuentra en un estancamiento técnico.

**Polimerización y modelado.** Se han encontrado 1998 trabajos entre 1954-55 y 2006

cuando se utilizó la estrategia “*TS = (Polymerization OR Polimerisation) AND TS = (Modelling OR Modeling)*” en el campo de búsqueda avanzada del banco de datos de *ISI Knowledge*. El número de artículos por autor puede verse en la Figura 8.

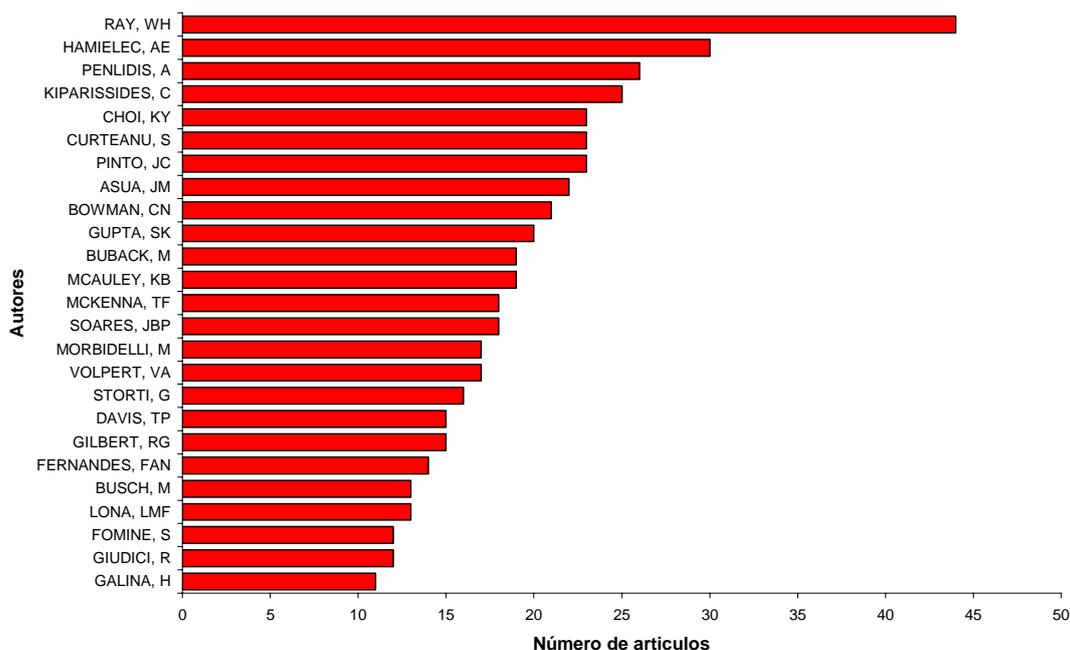


Figura 8. Número de artículos por autor.

Autores que aparecen en las dos búsquedas (polimerización en masa de polipropileno y simulación de polimerización) pueden estar contribuyendo con el mismo trabajo, pero lo que cuenta no es si están duplicados, sino que traten los temas considerados.

Algunos bancos de datos muestran también las palabras-clave utilizadas en una determinada publicación. Las palabras más encontradas indican el nivel actual de desarrollo, al mismo tiempo que las palabras que son menos utilizadas pueden indicar desuso de una técnica, o tendencia futura para la investigación, o sea, donde se puede esperar una innovación tecnológica. Estos datos no están contemplados en este trabajo, pues los campos de palabras-claves no estaban disponibles en los portales de búsqueda consultados.

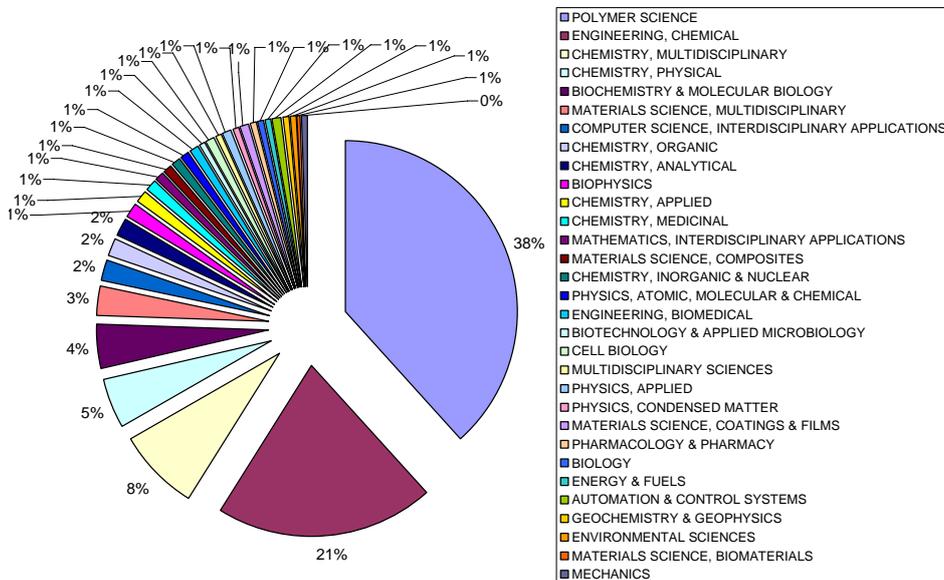


Figura 9. Clasificación de las categorías de los temas de las publicaciones.

Las categorías utilizadas para la clasificación de las publicaciones en el área de simulación y polimerización se muestran en la Figura 9. Los áreas de Ciencia de los Polímeros e Ingeniería Químicas son las más importantes, dejando a las otras áreas con una pequeña fracción de la tarta. Estos resultados pueden significar gran afinidad con el tema de interés, es decir, pocas publicaciones fuera del área de la ingeniería de polimerización.

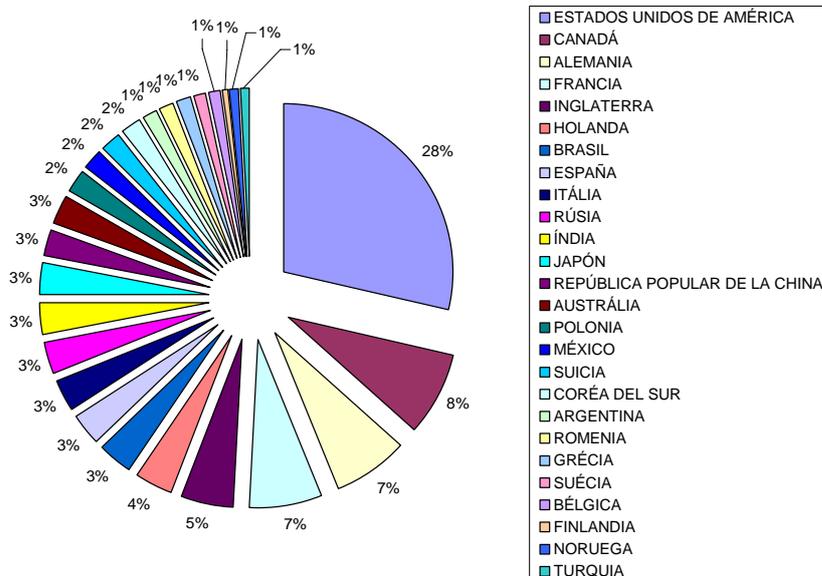


Figura 10. Número de publicaciones por país de origen.

Una vez más, son los Estados Unidos de América lo que tienen una producción científica mayor, comparada con la de los otros países, aunque la diferencia entre los participantes de esta fracción es pequeña. Brasil posee una posición prometedora si se consideran las características de su parque industrial nacional, que emplea tecnología importada (transferencia de tecnología). La Figura 10 muestra la posición de los países respecto al número de publicaciones.

La Figura 11 muestra un equilibrio entre las instituciones de investigación alrededor del mundo. La Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ) es una gran contribuyente para las investigaciones en el área de simulación de las reacciones de polimerización, gracias al grupo formado por los investigadores de la Coordinación de los Programas de Postgrado de Ingeniería (COPPE/UFRJ) y de la Escuela de Química (EQ/UFRJ).

El inglés, como la lengua oficial, es el idioma que predomina en las publicaciones científicas. La Figura 12 muestra esta tendencia.

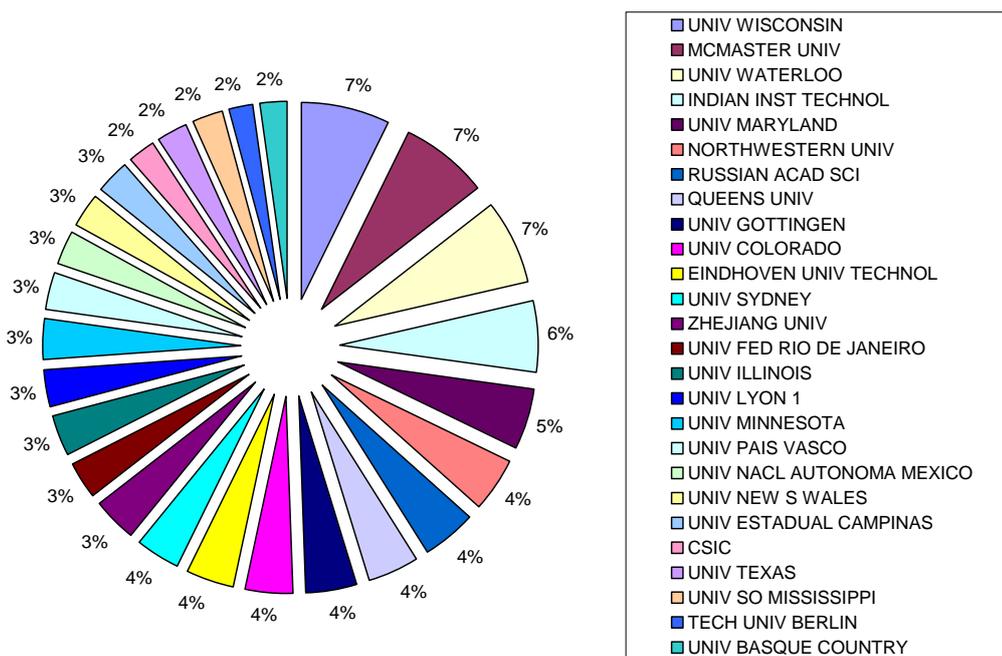


Figura 11. Número de publicaciones por institución.

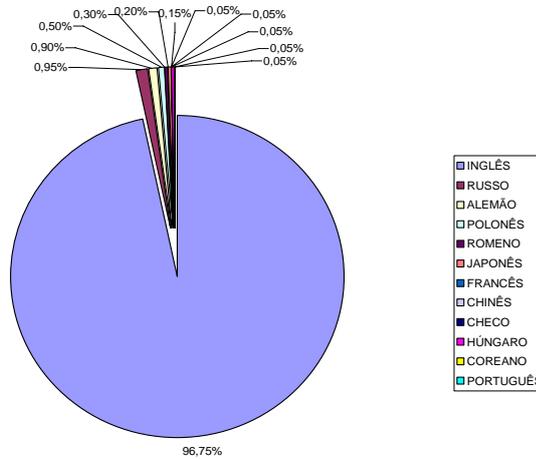


Figura 12. Idiomas utilizados en la publicación de los trabajos.

Hay una distribución homogénea entre las siete primeras revistas de la Figura 13. La principal de ellas es el *Journal of Applied Polymer Science*, de manera análoga a lo que se ha encontrado en la investigación de la polimerización en masa. Se puede también distinguir la participación de la revista *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, de la Asociación Brasileira de Ingeniería Química (ABEQ), aproximadamente con diez artículos científicos.

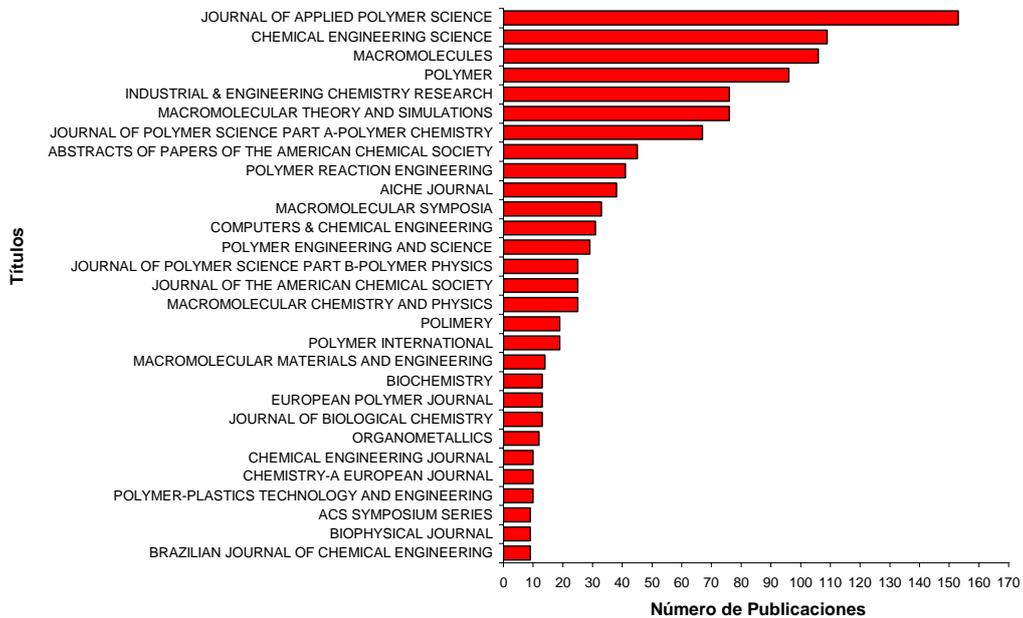


Figura 13. Número de publicaciones de revistas indexadas.

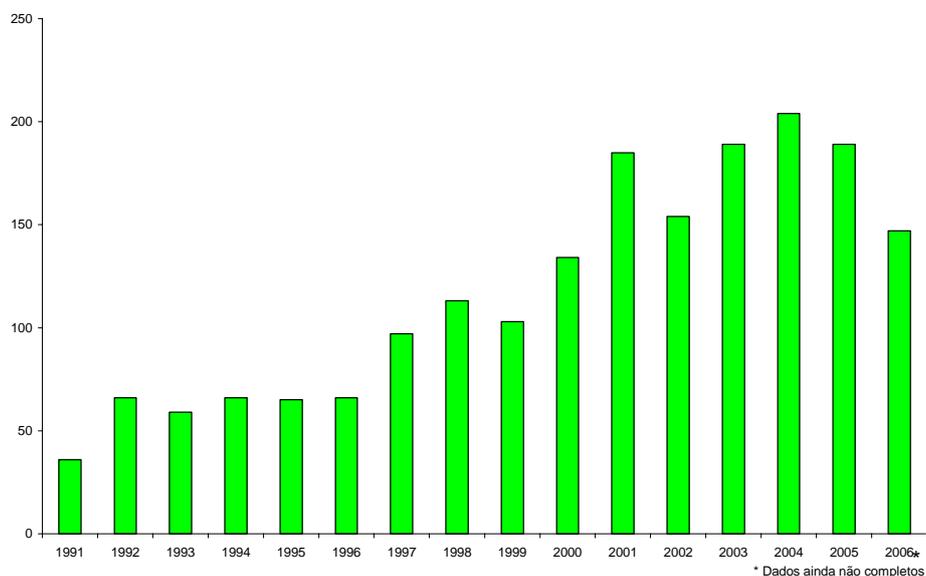


Figura 14. Número de trabajos por año.

En la Figura 14 se puede distinguir una tendencia de crecimiento de los trabajos en el área de simulación de las reacciones de polimerización. Los datos mostrados desde 1991 sugieren un número razonable de publicaciones por año.

**3.3. Polimerización y redes neuronales.** Para los términos  $TS = (Polymerization OR Polymerisation) AND TS = (Neural Network)$  la búsqueda en ISI Knowledge permitió obtener 107 resultados en el período de 1954-55 hasta 2006. Por los números encontrados y en comparación con las dos investigaciones presentadas anteriormente, es posible observar que el tema aún se encuentra en fase de desarrollo. Muchas aplicaciones para las redes neuronales pueden ser estudiadas.

El tema de las redes neuronales en el ámbito de polímeros está aún muy poco estudiado si se compara con los otros dos temas investigados, a pesar de surgir en la década de 1940, con el trabajo de *McCulloch* y *Pitts*. Por eso presentó el menor número de publicaciones en esta búsqueda.

Exceptuándose el autor que ocupa la primera posición, *Zhang*, los otros autores tienen un número muy bien distribuido de publicaciones (véase la Figura 15). Estos datos pueden sugerir algún tipo de limitación en la utilización de las redes neuronales en los procesos de producción de polímeros como, por ejemplo, la dificultad para acompañar ciertas modificaciones en las propiedades de los productos durante el tiempo de reacción. En esta medida, investigaciones en el

área de la instrumentación y el control son muy importantes. Además, la difusión entre los grupos de investigación puede no ser eficiente para la generalización de esta técnica.

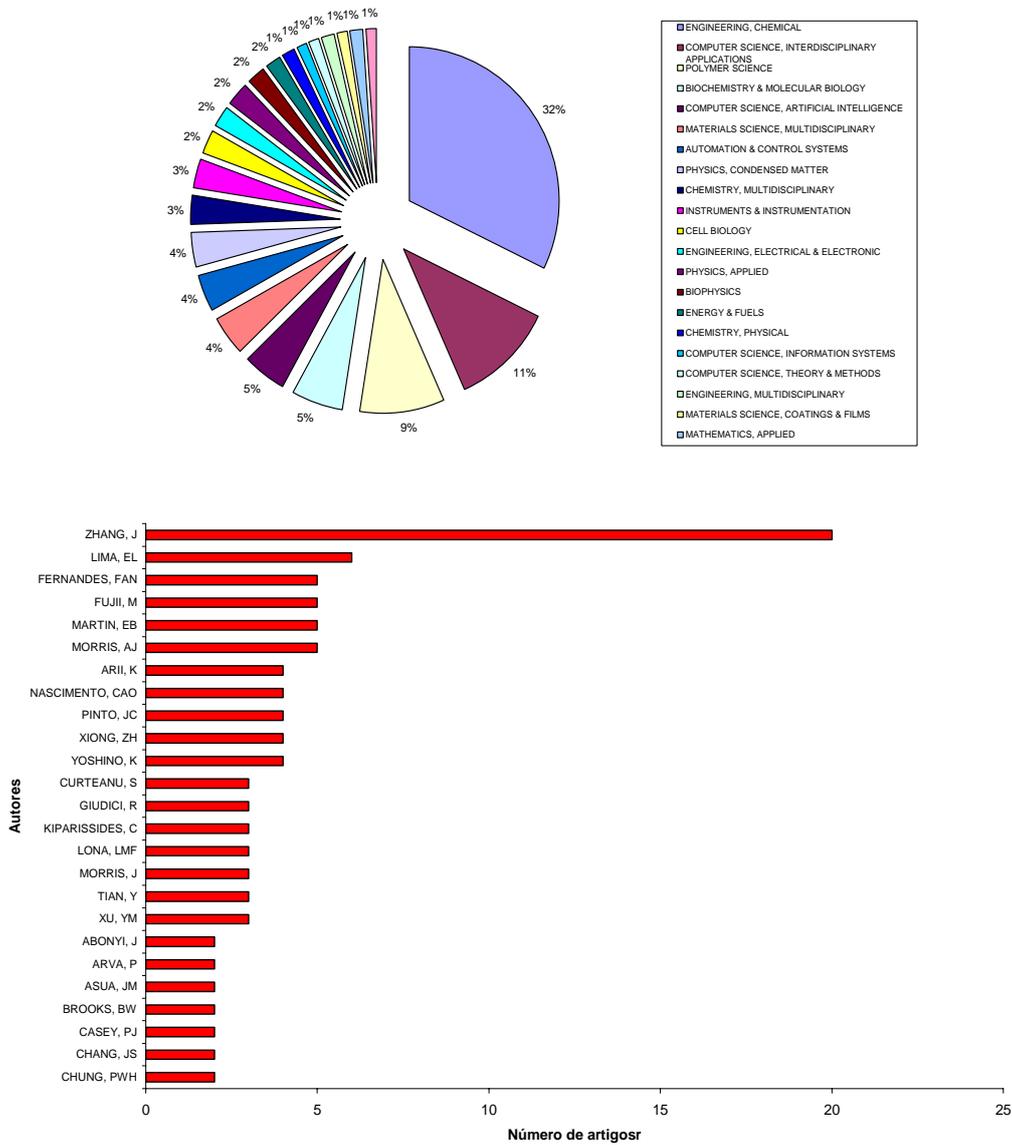


Figura 15. Número de artículos por autor.

La clasificación de las categorías indica la utilización de las redes neuronales en el área de Ingeniería Química, según la Figura 16. Esta tendencia puede estar siendo enriquecida por la necesidad de mayores desarrollos en el acompañamiento y control de procesos de polimerización, satisfaciendo criterios de calidad en el producto final.

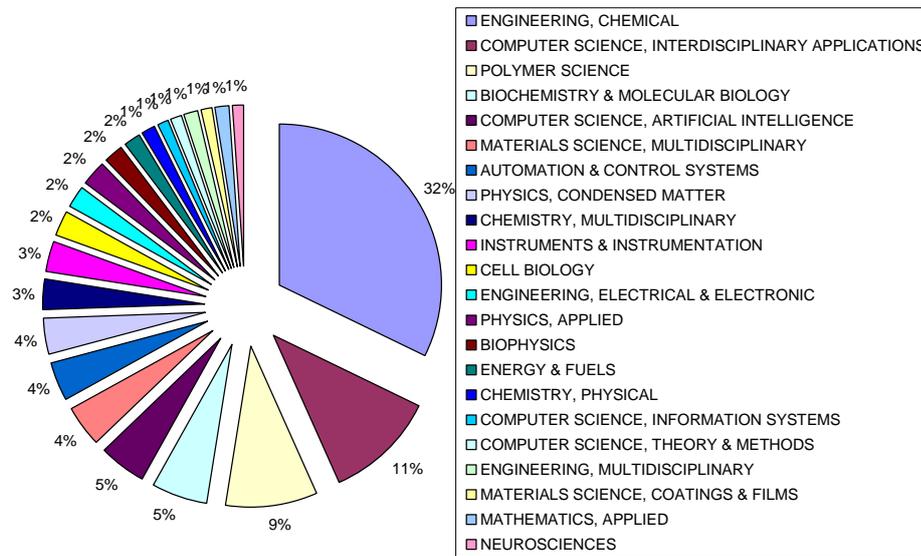


Figura 16. Clasificación de las categorías de los temas de publicación.

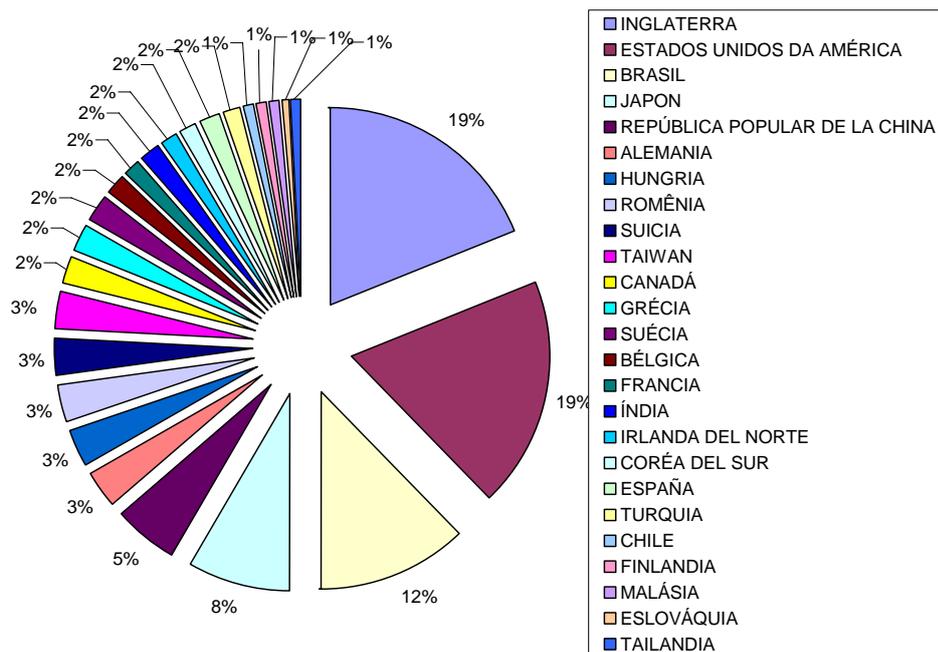


Figura 17. Número de publicaciones por país de origen.

Inglaterra, Estados Unidos de América, Brasil y República Popular de China parecen dominar las investigaciones en el área de las redes neuronales con aplicaciones a los procesos de polimerización, según puede verse en la Figura 17.

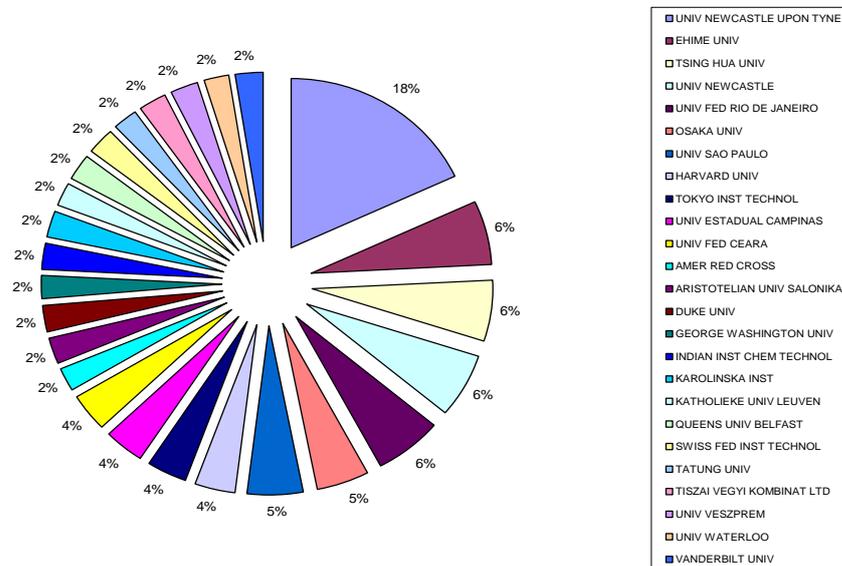


Figura 18. Número de publicaciones por institución.

Cuatro universidades brasileras están entre las principales productoras de publicaciones en el área de las redes neuronales relacionada a los procesos de polimerización. De acuerdo con la Figura 18 se ordenan por el número decreciente de publicaciones de la siguiente forma: Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ), Universidad de São Paulo (USP), Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP) y Universidad de Ceará (UFCE).

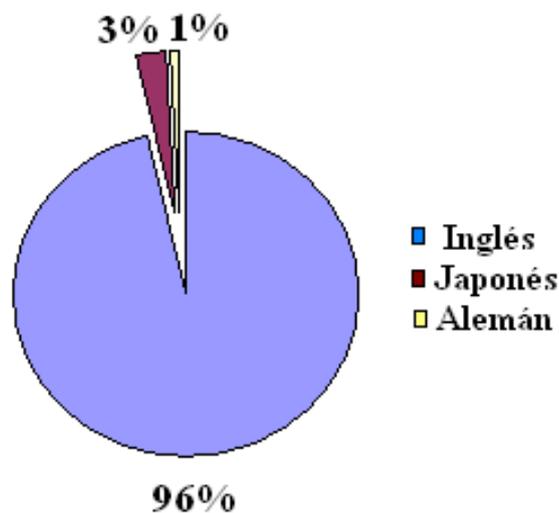


Figura 19. Idiomas utilizados en la publicación de los trabajos de investigación.

El inglés es, una vez más, el idioma más frecuentemente utilizado, totalizando 103

artículos. Hay tres artículos en japonés y uno en alemán.

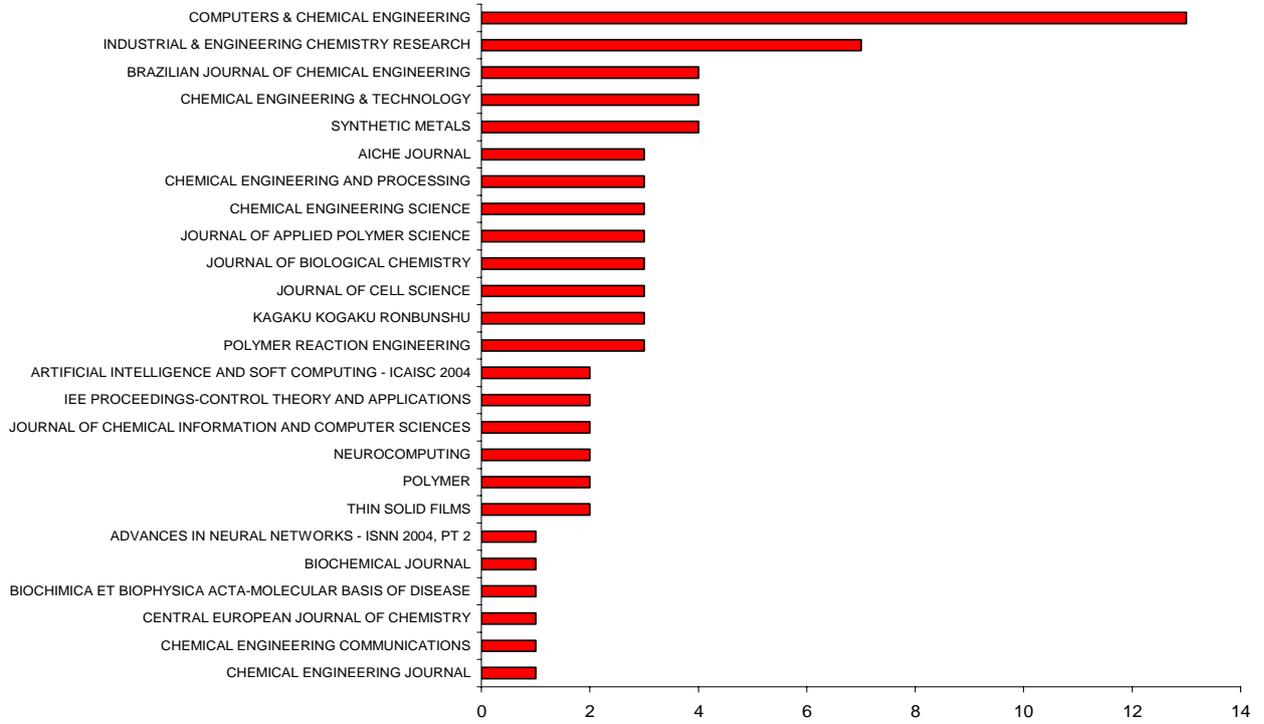


Figura 20. Número de publicaciones por revista indexada.

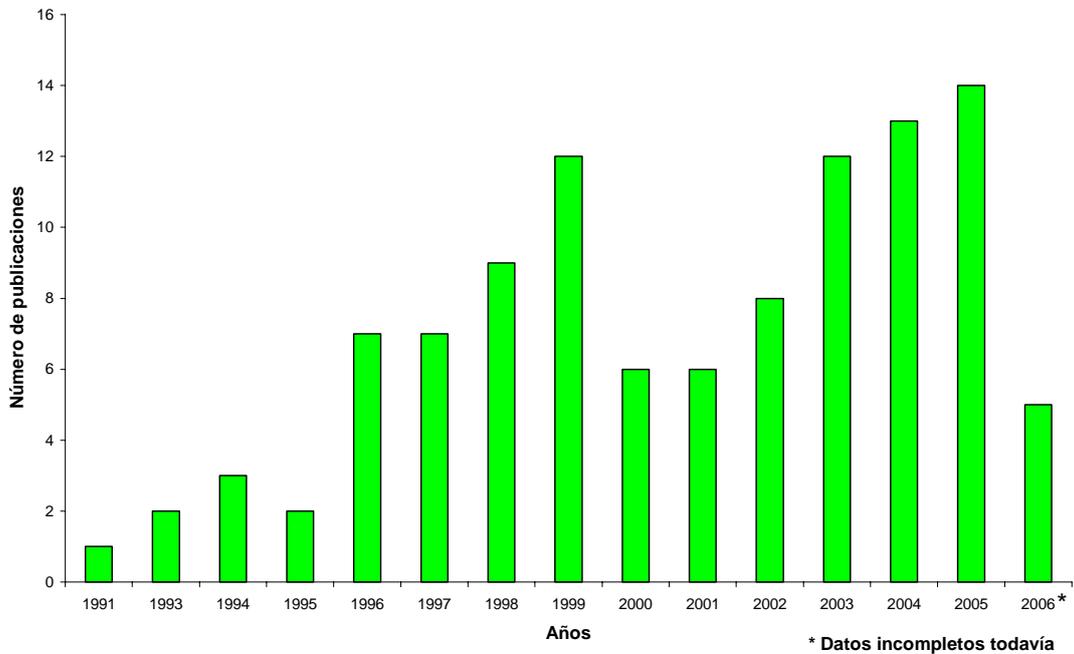


Figura 21. Número de trabajos de investigación por año.

Las revistas donde más se publican trabajos de investigación sobre la aplicación de las redes neuronales a los procesos de polimerización son *Computer Chemical Engineering*, *Industrial & Engineering Chemical Research*, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *Chemical Engineering & Technology* y *Synthetic Metal* (Figura 20). Para mayor conocimiento del asunto, se sugiere consultar más frecuentemente estas publicaciones.

Es posible notar una evolución creciente en las publicaciones que tratan de la utilización de redes neuronales en el área de polímeros (véase la Figura 21). Es importante destacar que los años de 2005 y 2006 no deben ser considerados definitivos, pues los datos completos para este período aún no se han establecido.

### CONCLUSIONES

La prospección tecnológica es un primer paso para el desarrollo de la tecnología. También el análisis de patentes y estudios de mercado deben ser considerados para una información más completa de estudios. Se deben buscar informaciones sobre el estado del arte de la materia de interés.

La definición de las reglas de búsqueda y las bases consultadas son extremadamente importantes para la recolección más o menos completa de datos, conforme se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los portales de búsqueda para la investigación realizada. Los datos están relacionados con el número de publicaciones.

	Portales de búsqueda		
	<i>Science Direct</i>	<i>American Chemical Society</i>	<i>Web of Science</i>
<b>Polimerización en masa + Polipropileno</b>	7	0	105
<b>Simulación + Polimerización</b>	451	212	1998
<b>Redes Neuronales + Polimerización</b>	34	8	107

En la Tabla 1, se concluye que el área de simulación de polimerizaciones se encuentra en un escalón de desarrollo avanzado, comparándose a otras áreas como la utilización de redes neuronales en procesos de polimerización y el desarrollo en procesos de polimerización en masa

para polipropileno. Este avance es resultado de numerosas investigaciones alrededor del mundo.

Brasil se destaca en todas las áreas mostradas en este trabajo, principalmente con la participación de los grupos de investigación de COPPE, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Universidad de São Paulo (USP), Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), Escuela Federal de Ingeniería de Itajubá (FEI) y de la Universidad de Ceará (UFCE).

En Brasil, la interacción entre empresas y universidad es una cuestión que siempre se discute, observándose una resistencia elevada por las dos partes. De un lado, las empresas buscan proyectos para cortos plazos, tales como trabajos consultivos y pequeñas mejoras en procesos. En otro lado, el medio académico no consigue presentar sus resultados y organizarse para ofrecer servicios. Aunque ya existe una adaptación de los diversos grupos de investigación distribuidos por todo el país, ella aún es poca.

La divulgación de las investigaciones realizadas en las tesis de maestría y doctorado en el medio industrial es una estrategia para la interacción de los grupos, además, de las reuniones de negocios y congresos técnicos.

De cualquier manera, el análisis bibliométrico es importante para cualquier comunidad científica e industrial, pues señala los caminos del desarrollo tecnológico.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen al Centro de Investigaciones de Petrobras – CENPES, por el apoyo brindado en las Investigaciones sobre los temas abordados. Contribuyeron gentilmente en la revisión del idioma español Enrique Luis Lima, profesor de COPPE y Gisel Chenard Díaz, alumna de doctorado de la Escuela de Química de la Universidad Federal de Rio de Janeiro.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Mano EB, Mendes LC “*Introdução a Polímeros*”, 2ª edición, Editorial Edgard Blüchner, 2001
- [2] Cunha FR, Calificación doctoral, EQ/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2007
- [3] Zhang J, Morris AJ, Martin EB, Kiparissides, C., *Chemical Engineering Journal*, 135 (1998)
- [4] Zhang J, *Neural Networks*, **12**, 927 (1999)
- [5] Zhang J, Morris AJ, Martin EB, Kiparissides C, *Computers & Chemical Engineering*, **23**, 301 (1999)
- [6] Zhang J, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **43**, 1030 (2004)