

# El sistema científico chino en el periodo de reforma económica

Política científica y evidencia bibliométrica

Elio Pérez Calle

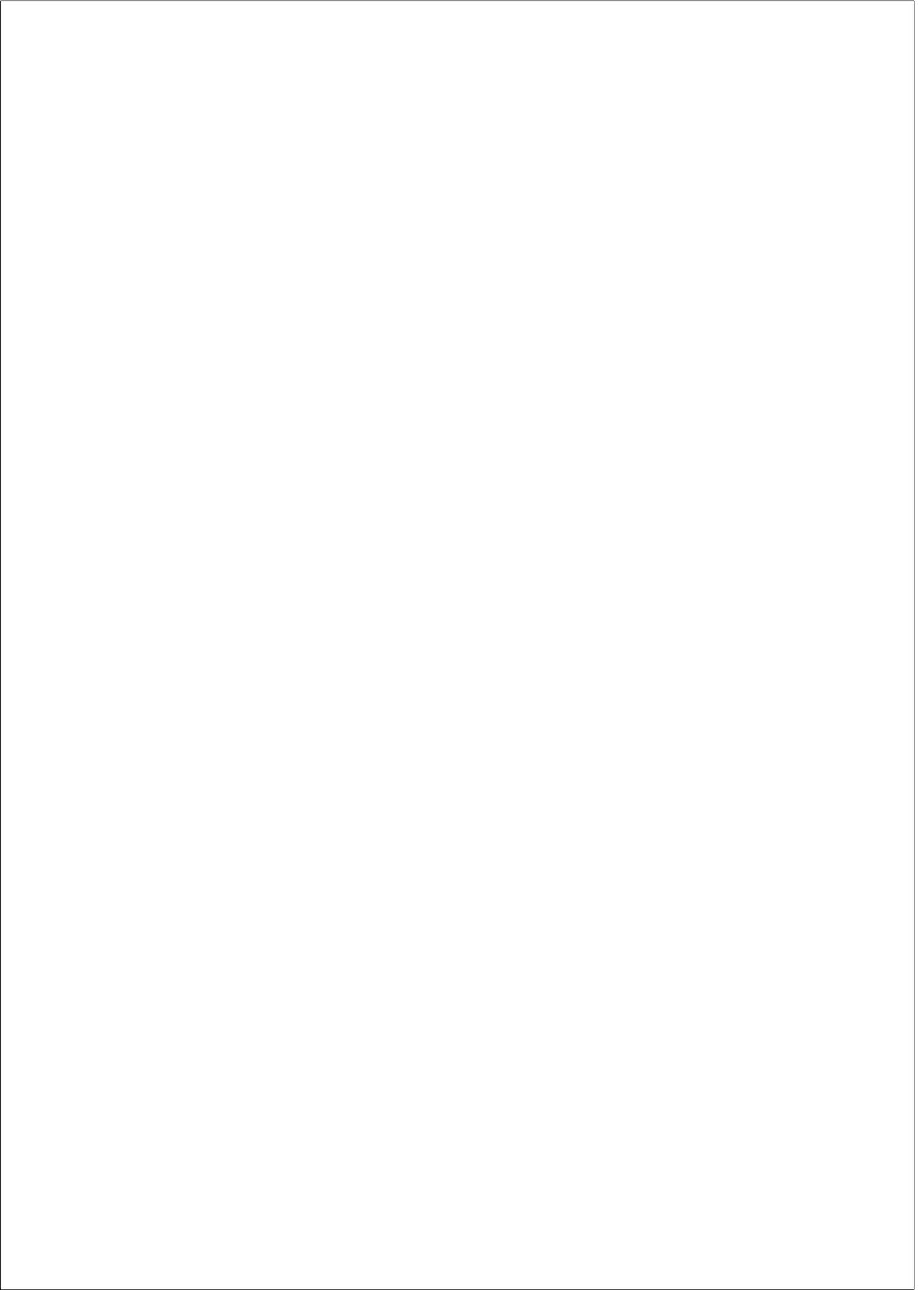
---

TESI DOCTORAL UPF / ANY 2016

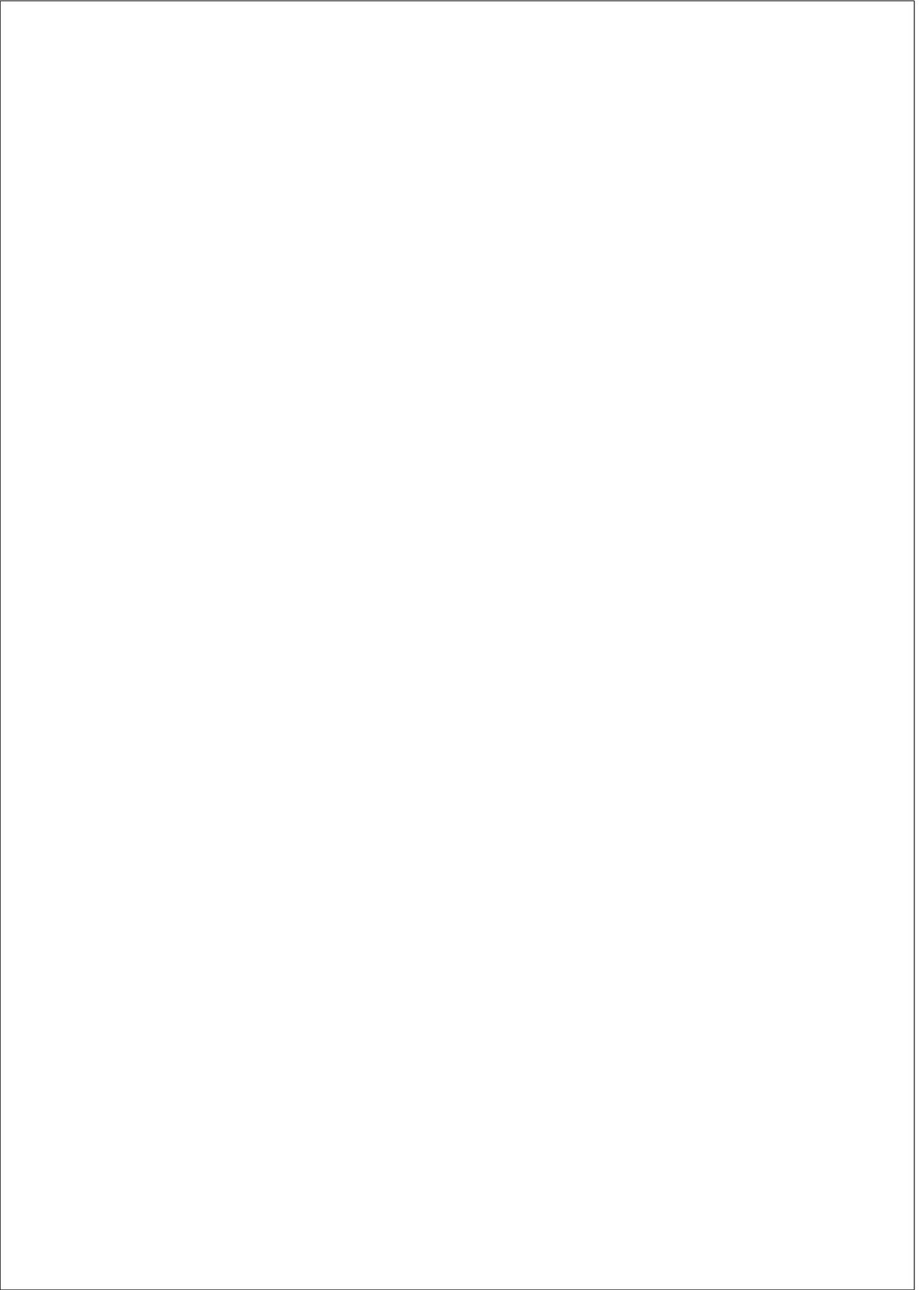
DIRECTOR DE LA TESI

Dr Manel Ollé. Departament de Humanitats





A mi padre.



## **Resumen**

El presente trabajo se sitúa en el punto de encuentro de tres ámbitos: el estudio de la historia china contemporánea, el estudio de la historia de la ciencia y el análisis de indicadores bibliométricos para abordar la emergencia del sistema chino de ciencia y tecnología en el periodo reformista impulsado por Deng Xiaoping, considerar la naturaleza y evolución de sus principales elementos, analizar los objetivos y las prioridades de la política científica china y obtener una medida cuantitativa de sus resultados científicos más relevantes en un contexto de complejidad e internacionalización crecientes.

## **Resum**

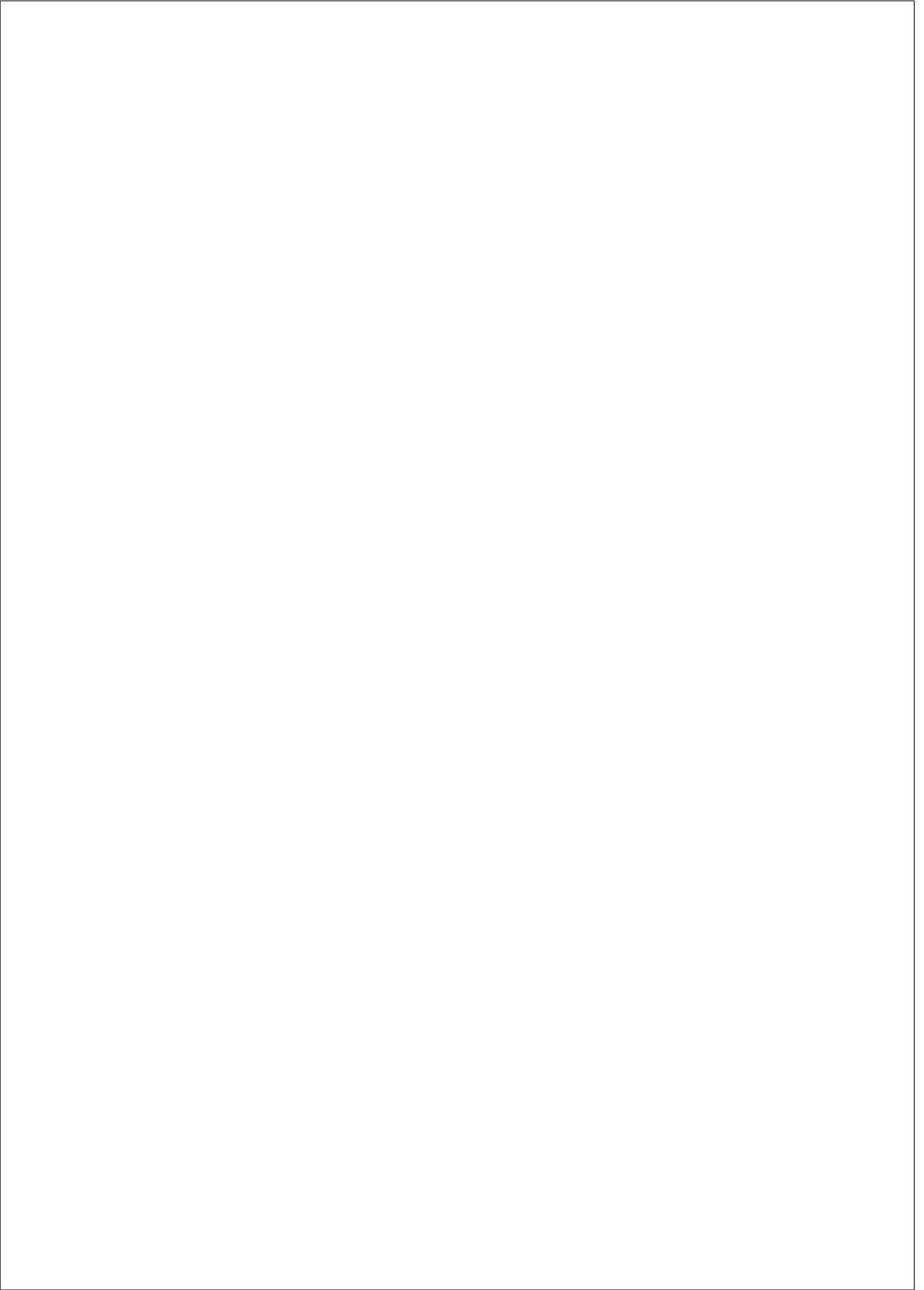
El present treball se situa en el punt de trobada de tres àmbits: l'estudi de la història xinesa contemporània, l'estudi de la història de la ciència i l'anàlisi d'indicadors bibliomètrics per tal d'abordar l'emergència del sistema xinès de ciència i tecnologia en el període reformista impulsat per Deng Xiaoping, considerar la naturalesa i evolució dels seus principals elements, analitzar els objectius i les prioritats de la política científica xinesa i obtenir una mesura quantitativa dels seus resultats científics més rellevants en un context de complexitat i internacionalització creixents.

## **Abstract**

This work is located at the meeting point of three areas: the study of Chinese contemporary history, the study of the history of science and the analysis of bibliometric indicators to address the emergence of the Chinese science and technology system during the economic reform period driven by Deng Xiaoping. We will consider the nature and evolution of its main elements, analyze the objectives and priorities of the Chinese science policy and produce a quantitative measure of its most important scientific results in an environment of increasing complexity and internationalization.

### **Sobre este documento**

El presente trabajo ha sido desarrollado empleando el sistema operativo Debian GNU/Linux. El texto ha sido compuesto con  $\text{\LaTeX}$ , de Leslie Lamport. Se ha empleado el lenguaje de programación R para el tratamiento estadístico de datos, el programa Gimp para dar la forma definitiva a los gráficos y el programa Dia para los diagramas. Todas las herramientas reseñadas son de código abierto y libre distribución.

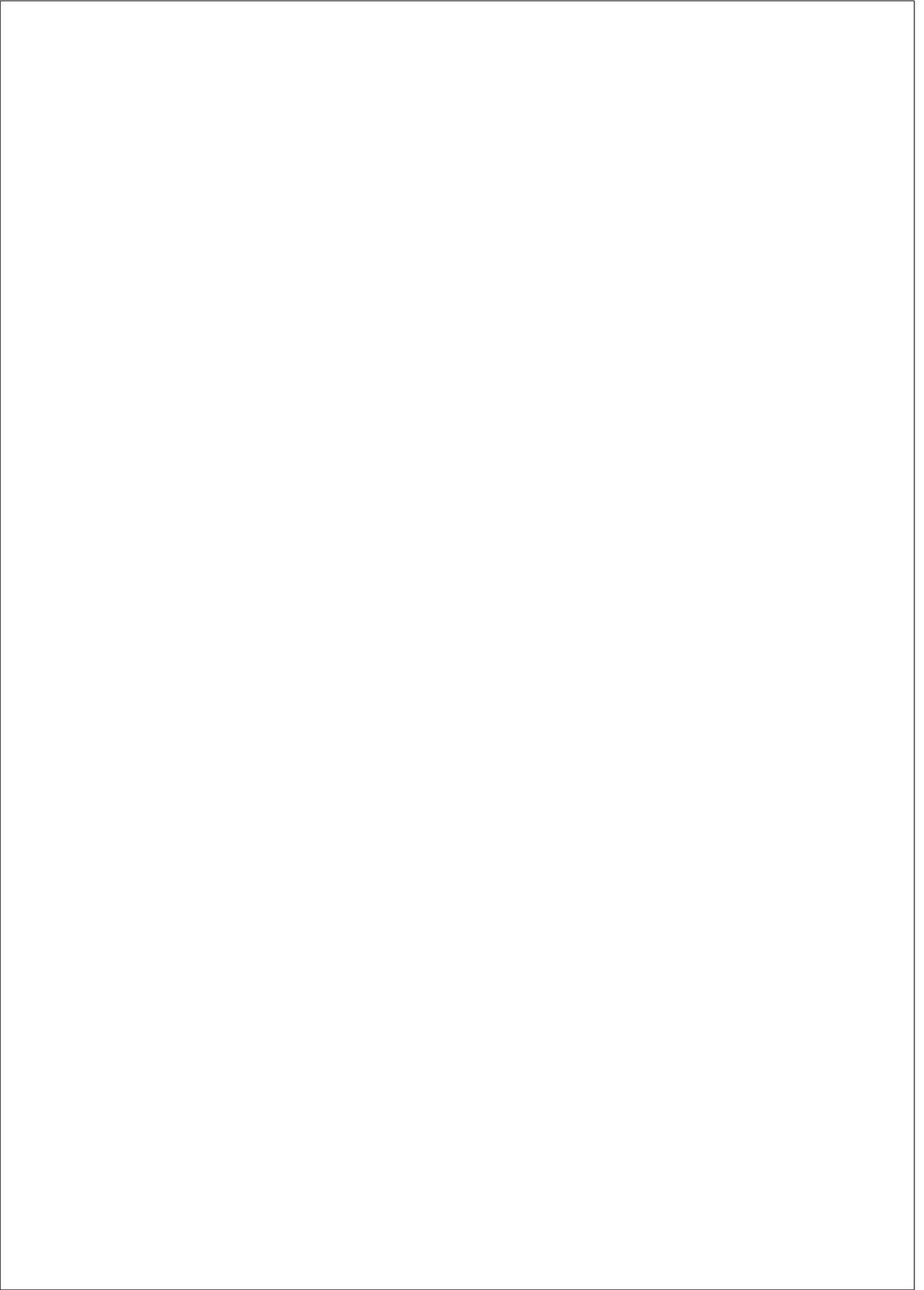


### **Nota sobre la terminología**

En el presente documento se hace referencia a numerosos nombres y acrónimos correspondientes a instituciones chinas. Se ha optado por introducir sus nombres oficiales en inglés y sus acrónimos en esta lengua tal y como los utilizan las autoridades chinas, aportando también una traducción al castellano. De este modo, la Academia China de Ciencias responde al acrónimo CAS (Chinese Academy of Science). Se ha incluido una lista de acrónimos para su consulta.

Dado el carácter bilingüe de este documento, se ha optado por utilizar acrónimos en lengua inglesa, tales como WTO para la Organización Mundial del Comercio y GDP para el Producto Interior Bruto, a lo largo de todo el texto. Lo mismo sucede con nombres propios, tales como «Science Citation Index» (SCI). Para las expresiones chinas, se utiliza el método de transliteración *pinyin*, por ser el más extendido. Por este motivo, se hace referencia a la ciudad de Beijing en lugar de Pekín o Peking.

La moneda de la República Popular China es el renminbi (RMB) o yuan (Chinese Yuan, CNY). No es completamente convertible pero está sujeta a una cierta variación. Por motivos de consistencia, para las cantidades facilitadas en yuanes se aporta una única conversión en euros, correspondiente a la cotización oficial del 1 de enero de 2016 (1 EUR = 7,07 CNY) según el Banco Central Europeo. Por último, se ha empleado el estándar ISO-3166-1 para representar los nombres de los países, utilizando por ejemplo CHN para China.



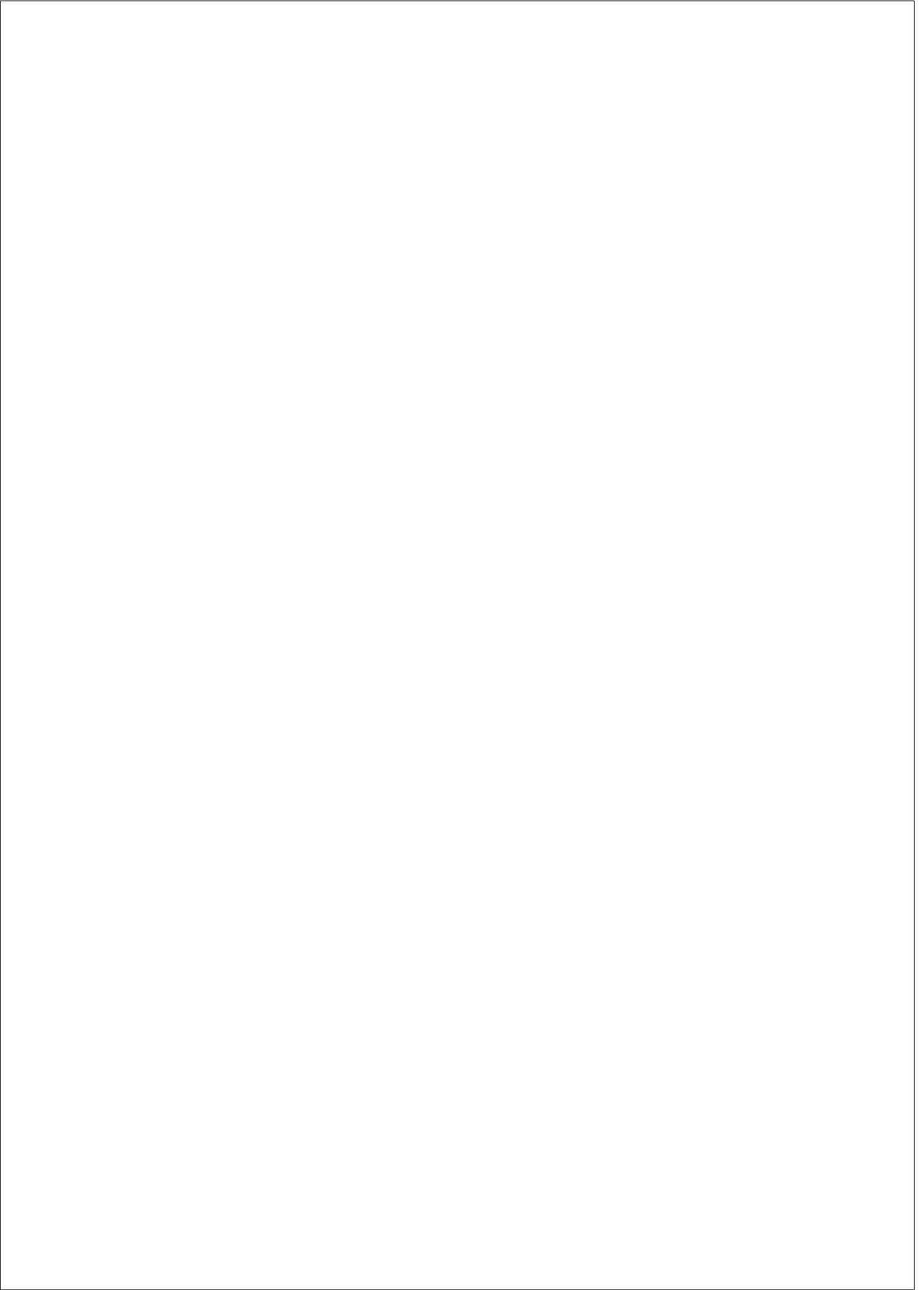
## **Prefacio**

En las cuatro últimas décadas, China ha pasado de un sistema aislado de economía planificada a uno cada vez más abierto y más conectado con el mundo. Las reformas se han traducido en un importante crecimiento económico, en la llegada de inversión extranjera y en la transformación de la industria y del comercio, si bien también ha aumentado la desigualdad entre regiones y entre personas.

China también ha transformado su sistema de investigación, desarrollo e innovación, que en la década de 1950 se inspiró en el sistema soviético y actualmente se entiende como la piedra angular sobre la que edificar una economía avanzada. La creciente inversión en el sistema ha producido un importante incremento de sus resultados de investigación, un objetivo clave para China según su actual política científica.

El estudio de la evolución reciente de esta política y de las principales instituciones que toman parte en ella nos dará la base para analizar en detalle una serie de indicadores económicos y ante todo bibliométricos que nos permitirán describir mejor el sistema chino de I+D y su trayectoria, compararlo con el de otras potencias científicas e identificar posibles tendencias de futuro.

El objetivo final del presente trabajo es contribuir al conocimiento del alcance, el ámbito y la naturaleza de la participación de China en la ciencia mundial, en un momento de creciente interdependencia y conexión, así como aportar herramientas y datos para continuar ampliando este conocimiento en el futuro y, en última instancia, dar un paso más hacia el mutuo entendimiento y la colaboración.



# Índice general

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Índice general</b>                                   | <b>xiii</b>  |
| <b>Índice de acrónimos</b>                              | <b>xx</b>    |
| <b>Índice de figuras</b>                                | <b>xxi</b>   |
| <b>Índice de tablas</b>                                 | <b>xxv</b>   |
| <b>Índice de ecuaciones</b>                             | <b>xxvii</b> |
| <b>1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</b>                         | <b>1</b>     |
| <b>2 ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>                          | <b>7</b>     |
| <b>3 METODOLOGÍA</b>                                    | <b>15</b>    |
| 3.1 Evolución histórica y política científica . . . . . | 15           |
| 3.2 Inputs del sistema de I+D . . . . .                 | 17           |
| 3.3 Outputs del sistema de I+D . . . . .                | 19           |
| 3.4 Medida de la internacionalización . . . . .         | 23           |
| 3.5 Perfil del sistema de I+D . . . . .                 | 27           |
| 3.6 Estudio de caso . . . . .                           | 29           |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>4</b> | <b>ANTECEDENTES Y REFORMA DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA R.P. CHINA</b>                        | <b>33</b>  |
| 4.1      | Marco temporal de los planes chinos . . . . .   | 33         |
| 4.2      | Antecedentes . . . . .  | 38         |
| 4.3      | El inicio de las reformas . . . . .   | 53         |
| 4.4      | La consolidación de las reformas . . . . .  | 68         |
| <b>5</b> | <b>CARACTERÍSTICAS CLAVE DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA R.P. CHINA</b>                         | <b>75</b>  |
| 5.1      | Prioridades científicas y grandes proyectos . . . . .   | 75         |
| 5.2      | Desarrollo científico e innovación soberana . . . . .   | 83         |
| 5.3      | La internacionalización del sistema chino . . . . .   | 91         |
| 5.4      | Un sistema de universidades de elite . . . . .  | 99         |
| 5.5      | El caso de la nanotecnología . . . . .  | 107        |
| <b>6</b> | <b>CHINA'S RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM: INTENSITY, OUTPUTS, PRODUCTIVITY AND INTERNATIONALIZATION</b> | <b>113</b> |
| 6.1      | Introduction and Objectives . . . . .   | 113        |
| 6.2      | International Aspects of Higher Education in China . . .  | 116        |
| 6.2.1    | World University Rankings and Elite Universities  | 120        |
| 6.2.2    | Import-export of Talents: from Foreign Students to Foreign Campuses . . . . .                             | 127        |
| 6.3      | Research and Development Intensity and Outputs . . . .  | 130        |
| 6.3.1    | Research and Development Intensity . . . . .  | 131        |
| 6.3.2    | Research and Development Outputs . . . . .  | 138        |
| 6.4      | Research and Development Workforce and Productivity .   | 146        |
| 6.5      | Conclusions and Further Work . . . . .  | 152        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>7</b> | <b>THE PROFILE AND EVOLUTION OF CHINA'S RESEARCH<br/>ACTIVITY INDEX IN THE INTERNATIONAL CONTEXT</b> | <b>157</b> |
| 7.1      | Introduction and Objectives . . . . .  | 157        |
| 7.2      | Measuring Research Output and Specialization . . . . .   | 166        |
| 7.2.1    | The Activity Index . . . . .   | 166        |
| 7.3      | The Evolution of China's Research System . . . . .   | 171        |
| 7.3.1    | Participation in International Research Journals . . . . .   | 174        |
| 7.3.2    | Correlation Factors . . . . .  | 179        |
| 7.4      | The Profile of China's Research System . . . . .   | 181        |
| 7.4.1    | Evolution of China's Activity Index . . . . .  | 181        |
| 7.4.2    | The International Context: World Activity Indexes . . . . .  | 184        |
| 7.5      | Conclusions and Further Work . . . . .   | 188        |
| <br>     |  |            |
| <b>8</b> | <b>NANOTECHNOLOGY: A KEY AREA IN CHINA'S RE-<br/>SEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM</b>                   | <b>191</b> |
| 8.1      | Introduction and Objectives . . . . .  | 191        |
| 8.1.1    | Defining Nanotechnology . . . . .  | 191        |
| 8.1.2    | Measuring Nanotechnology Research . . . . .  | 194        |
| 8.2      | Nanotechnology in China's Science Plans . . . . .  | 196        |
| 8.3      | The Emergence of Chinese Nanotechnology . . . . .  | 201        |
| 8.4      | Chinese Nanotechnology Research Outputs . . . . .  | 205        |
| 8.4.1    | Publications . . . . .   | 205        |
| 8.4.2    | Patents . . . . .  | 208        |
| 8.4.3    | Regional Innovation Hubs . . . . .   | 211        |
| 8.5      | Standardization, Products and Processes . . . . .  | 223        |
| 8.6      | Conclusions and Further Work . . . . .   | 225        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>9 CONCLUSIONES</b>                                       | <b>229</b> |
| 9.1 Política económica y científica . . . . .               | 229        |
| 9.2 Vínculos entre desarrollo económico y ciencia . . . . . | 231        |
| 9.3 Análisis cuantitativo del sistema de I+D . . . . .      | 233        |
| 9.4 Aspectos internacionales y movilidad . . . . .          | 239        |
| 9.5 Estudio de caso . . . . .                               | 242        |
| <b>Bibliografía</b>   | <b>247</b> |
| <b>Índice alfabético</b>                                    | <b>279</b> |

# Índice de acrónimos

**AI** Activity Index.

**ARWU** Ránking Académico de Universidades Mundiales (ránking de Shanghái).

**C-BERT** Cross-Border Education Research Team.

**CAE** Academia China de Ingeniería.

**CAS** Academia China de Ciencias.

**CASS** Academia China de Ciencias Sociales.

**CCP** Partido Comunista Chino.

**CERN** Organización Europea para la Investigación Nuclear.

**COSTIND** Comisión de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional.

**EC** Comisión Europea.

**ECB** Banco Central Europeo.

**EPO** Oficina Europea de Patentes.

**ESI** Essential Science Indicators.

**FTE** Full Time Equivalent.

**GDP** Producto Interior Bruto.

**GERD** Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo.

**IMF** Fondo Monetario Internacional.

**ISO** International Organization for Standardization.

**JPO** Oficina de Patentes de Japón.

**KIP** Programa de Innovación del Conocimiento.

**MIIT** Ministerio de Industria y Tecnología de la Información.

**MLP** Plan Estratégico a Medio y Largo Plazo para el Desarrollo de la  
Ciencia y la Tecnología.

**MOA** Ministerio de Agricultura.

**MOE** Ministerio de Educación.

**MOST** Ministerio de Ciencia y Tecnología.

**NDRC** Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma.

**NDSTC** Comisión de Ciencia y Tecnología para la Defensa Nacional.

**NI** Nanotechnology Index.

**NNDP** Programa Nacional para el Desarrollo de la Nanociencia.

**NNI** Iniciativa Nacional de Nanotecnología (Estados Unidos).

**NSF** Fundación Nacional de Ciencia (Estados Unidos).

**NSFC** Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China.

**OECD** Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo.

**PPP** Paridad de Poder Adquisitivo.

**PRC** República Popular China.

**QS** Ránking Universitario de Quacquarelli Symonds.

**SASTIND** Administración del Estado de Ciencia, Tecnología e Industria  
para la Defensa Nacional.

**SCI** Science Citation Index.

**SEZ** Zona Económica Especial.

**SIPO** Oficina Estatal de la Propiedad Intelectual.

**SSCI** Social Science Citation Index.

**SSPC** Comisión Estatal de Planificación Científica.

**SSTC** Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología.

**STA** Asociación para la Ciencia y la Tecnología.

**THE** Ránking Universitario de Times Higher Education.

**UNESCO** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la  
Ciencia y la Cultura.

**USPTO** Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos.

**WISD** World Industry Service Database.

**WPSD** Worldwide Patent Statistical Database.

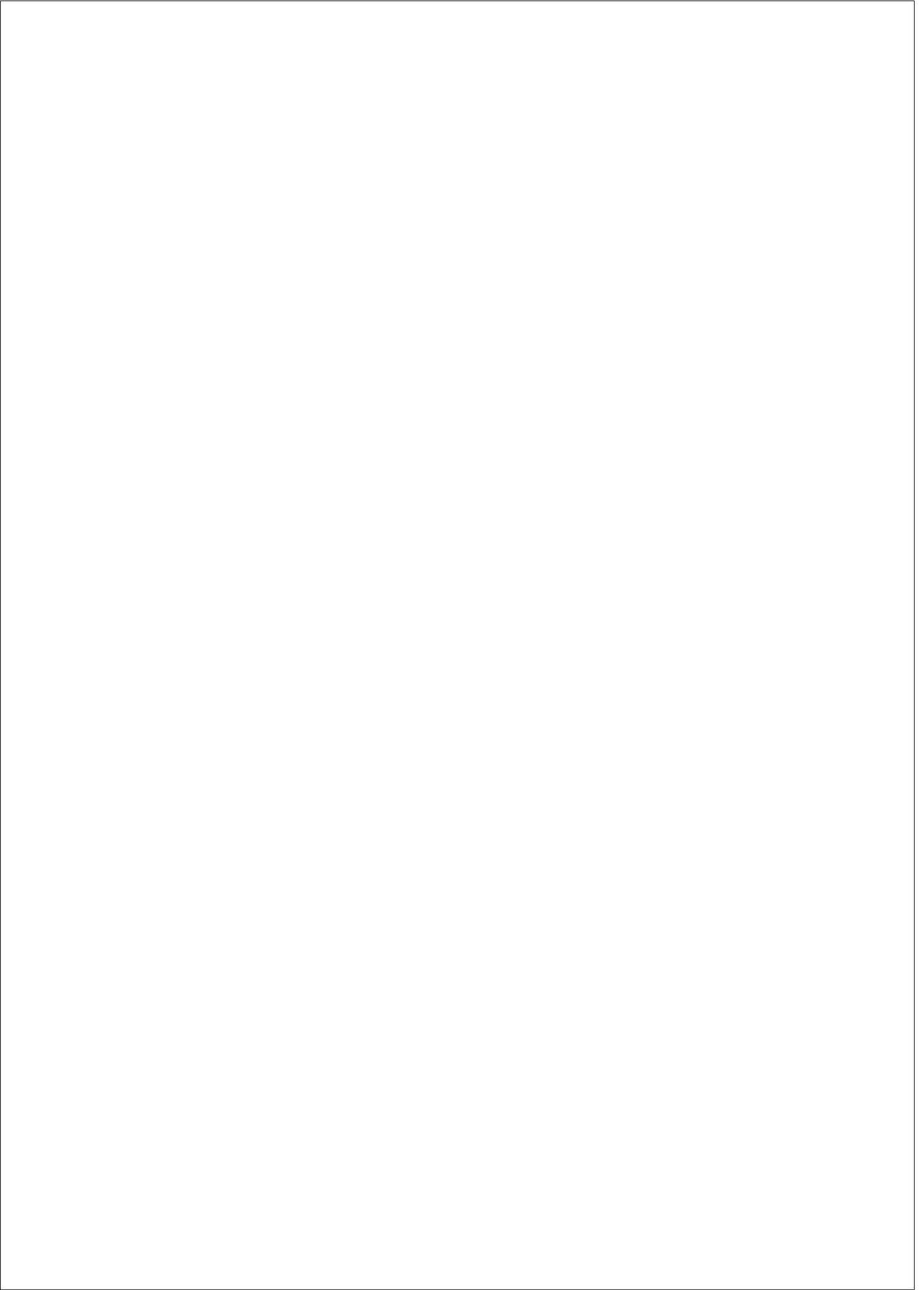
**WTO** Organización Mundial del Comercio.

## Índice de figuras

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.1 | Línea temporal del sistema chino de I+D. . . . .                           | 39  |
| 4.2 | El sistema chino de I+D durante el maoísmo. . . . .                        | 41  |
| 4.3 | El sistema chino de I+D tras la muerte de Mao. . . . .                     | 58  |
| 4.4 | El sistema chino de I+D al inicio de las reformas. . . . .                 | 64  |
| 4.5 | Valor añadido de la economía china por sectores productivos                | 72  |
| 4.6 | Evolución del GDP nominal de China . . . . .                               | 74  |
| 5.1 | El sistema chino de I+D tras la consolidación de las reformas. . . . .     | 81  |
| 5.2 | Elementos del sistema chino de I+D. . . . .                                | 84  |
| 5.3 | El sistema chino de I+D en la actualidad. . . . .                          | 88  |
| 5.4 | El sistema educativo chino. . . . .  | 102 |
| 5.5 | Financiación de las universidades del Proyecto 985. . . . .                | 104 |
| 6.1 | Number of universities in ARWU by country. . . . .                         | 124 |
| 6.2 | Evolution of the world's investment in research and development. . . . .   | 132 |
| 6.3 | Worldwide research publications and triadic patents (2001)                 | 142 |
| 6.4 | Worldwide research publications (2011) and triadic patents (2010). . . . . | 145 |

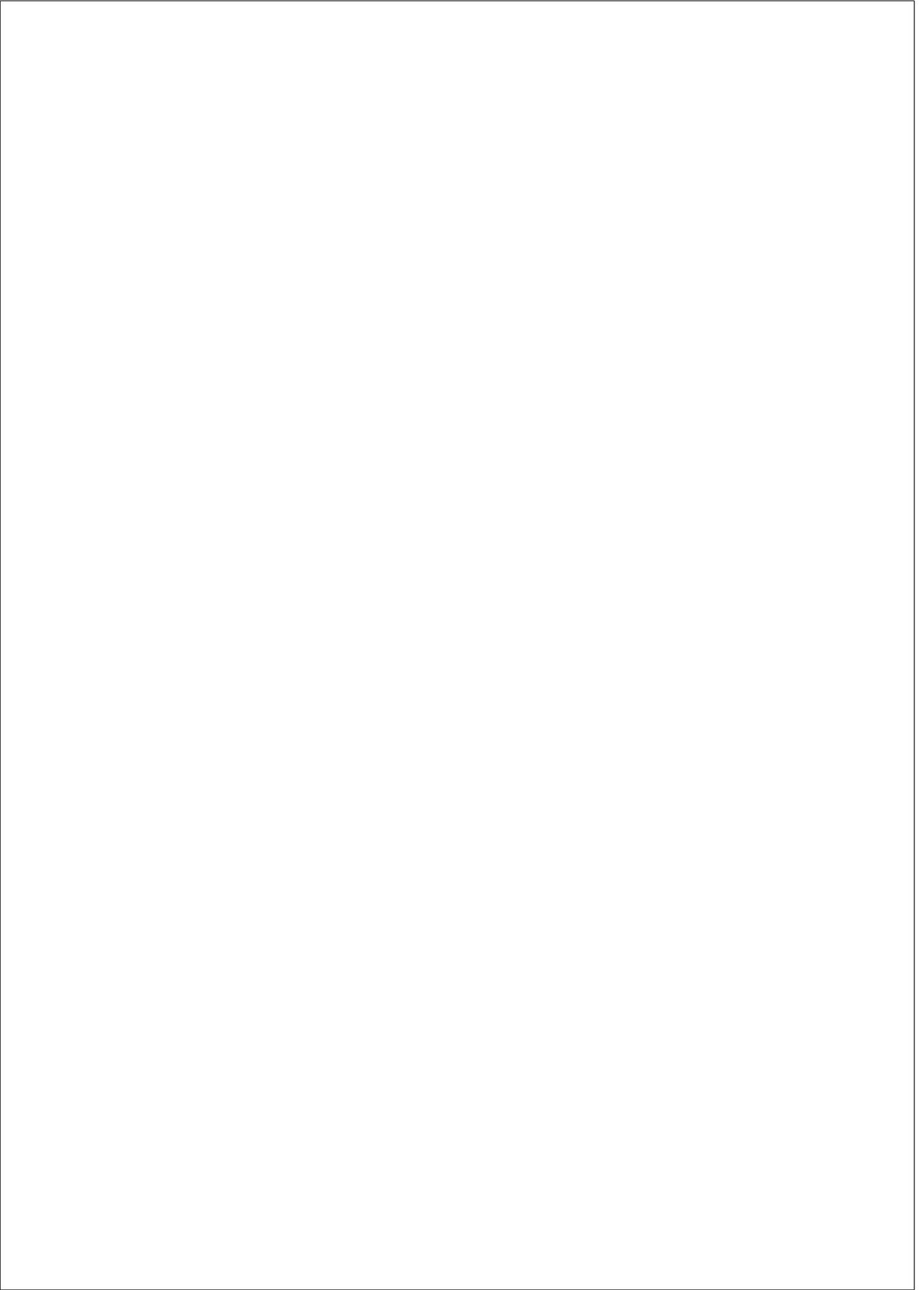
|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.5  | World research personnel measured in Full Time Equivalent (FTE). . . . .  | 147 |
| 6.6  | Worldwide Scientific Publications and Triadic Patents (2001) per thousand FTE. . . . .                          | 149 |
| 6.7  | Worldwide Scientific Publications (2011) and Triadic Patents (2010) per thousand FTE. . . . .                   | 151 |
| 7.1  | Research intensity in 2014 and annual average growth rate of research intensity . . . . .                       | 159 |
| 7.2  | Per capita research intensity in 2014 and annual average growth rate of research intensity, 1994-2014 . . . . . | 160 |
| 7.3  | Triadic patents granted in 1994 and 2013. . . . .   | 162 |
| 7.4  | Basic research intensity in 2014 and annual average growth rate of basic research intensity . . . . .           | 163 |
| 7.5  | Activity Index of the Chinese research system in 2014. . . . .  | 170 |
| 7.6  | Evolution of the publication of scientific papers by country . . . . .  | 175 |
| 7.7  | Correlation between Chinese- and American-coauthored papers . . . . .   | 178 |
| 7.8  | Correlation between Western- and American-coauthored papers . . . . .   | 180 |
| 7.9  | Activity Index of the Chinese research system (1994-2013) . . . . .   | 183 |
| 7.10 | Activity Index of China compared to world scientific powers (2014) . . . . .                                    | 185 |
| 7.11 | Evolution of the Activity Index of China compared to world scientific powers . . . . .                          | 187 |
| 8.1  | Timeline of nanotechnology research in China . . . . .  | 200 |
| 8.2  | Distribution of Chinese nanotechnology triadic patents . . . . .  | 212 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 8.3 | Nanotechnology triadic patents by regions in 1994 . . . . | 214 |
| 8.4 | Nanotechnology triadic patents by regions in 2000 . . . . | 216 |
| 8.5 | Nanotechnology triadic patents by regions in 2006 . . . . | 218 |
| 8.6 | Nanotechnology triadic patents by regions in 2012 . . . . | 220 |



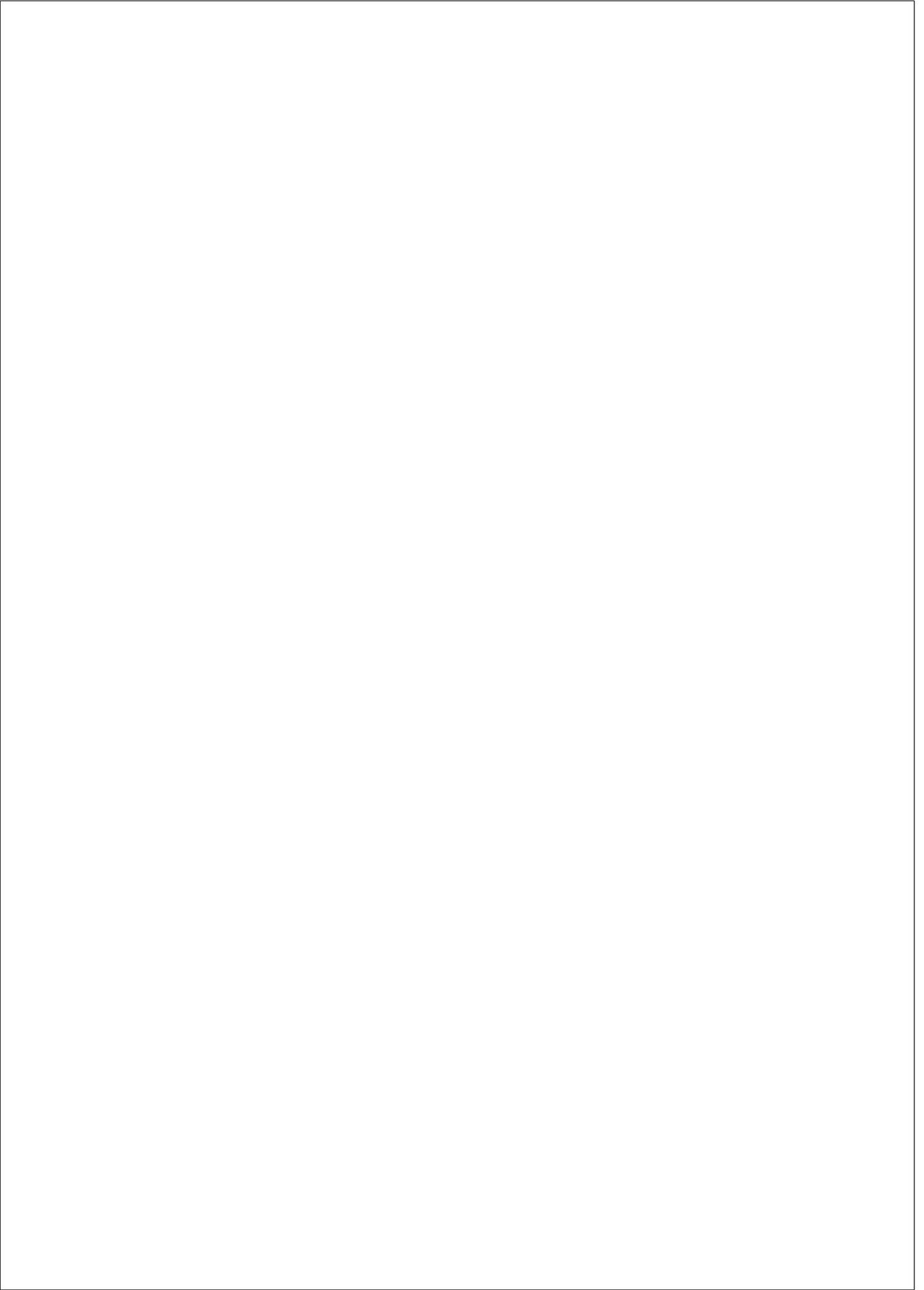
# Índice de tablas

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.1 | Estructura y financiación del sistema chino de I+D en 1987.    | 66  |
| 5.1 | La nanotecnología en los programas de financiación.            | 109 |
| 6.1 | The 39 Project 985 universities: Tier 1 and 2.                 | 121 |
| 6.2 | The 39 Project 985 universities: Tier 3.                       | 123 |
| 6.3 | World R&D indicators: GERD and value of industrial production. | 134 |
| 6.4 | World R&D indicators: Share of GDP and source of R&D funding.  | 137 |
| 6.5 | Research output indicators: papers.                            | 139 |
| 6.6 | Research output indicators: citations.                         | 141 |
| 6.7 | Research output indicators: triadic patents.                   | 143 |
| 8.1 | Nanotechnology triadic patents.                                | 208 |
| 8.2 | Nanotechnology Indexes.  | 210 |
| 8.3 | Nanotechnology innovation hubs in 1994.                        | 211 |
| 8.4 | Nanotechnology innovation hubs in 2000.                        | 215 |
| 8.5 | Nanotechnology innovation hubs in 2006.                        | 217 |
| 8.6 | Nanotechnology innovation hubs in 2012.                        | 219 |



# Índice de ecuaciones

|   |     |
|---|-----|
| 7.1 The Activity Index (Frame) . . . . .              | 168 |
| 7.2 The Activity Index (Schubert and Braun) . . . . . | 168 |
| 7.3 Relative Specialization . . . . .                 | 168 |
| 8.1 The Nanotechnology Index . . . . .                | 210 |



# Capítulo 1

## MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Cuando la Unión Soviética lanzó el satélite Sputnik en 1957, el sistema industrial y militar estadounidense quedó en estado de *shock*; pocos sabían que los soviéticos eran capaces de un logro de esa categoría. Tan sólo once días después, el presidente Eisenhower anunció un nuevo compromiso con la investigación y el desarrollo que fue la piedra angular del domino científico estadounidense en las décadas venideras.

Medio siglo después, el ministro de energía Stephen Chu utilizó en 2010 este ejemplo histórico para ilustrar la emergencia de China como potencia científica. La República Popular China (PRC) ha logrado un rápido desarrollo de su sistema de ciencia y tecnología en las últimas décadas. Según el informe citado por el propio Chu [Grueber and Studt, 2011] en su intervención, China ha pasado del decimoquinto al quinto lugar en patentes internacionales, del decimocuarto al segundo en artículos científicos y se sitúa en primer lugar en lo referente a infraestructuras tales como la red

de ferrocarril de alta velocidad.

Una cuestión clave en esta emergencia es la participación de su gobierno en este proyecto a través de la implementación de una política científica dirigida por el Gobierno, que ha sido más relevante en China que en otros países. La motivación principal de esta tesis es analizar el desarrollo científico y tecnológico reciente de la PRC desde un punto de vista histórico, haciendo énfasis en la investigación y el sistema de educación superior, con el objeto de contribuir al entendimiento del alcance, el ámbito y la naturaleza de la participación de China en la ciencia mundial.

De este modo, ésta es una tesis liminar entre tres ambitos: el estudio de la historia china contemporánea -desde la fundación de la PRC en 1949 y particularmente desde el inicio de la etapa de las reformas económicas en 1976-, el estudio de la historia de la ciencia -concretamente de la política científica y del desarrollo de un sistema de ciencia y tecnología- y la bibliometría, entendiendo como tal un conjunto de medidas cuantitativas de la producción científica y tecnológica que permiten evaluar de manera objetiva la evolución de la misma, tal y como hizo el ministro Chu al utilizar las patentes internacionales y los artículos científicos como indicadores del desarrollo chino.

Con esta idea en mente, los objetivos principales de este trabajo de investigación pueden definirse como los siguientes:

- Considerar la política científica del Gobierno chino en la época reformista de Deng Xiaoping, y en particular el establecimiento de las prioridades, los programas de promoción de la investigación y las herramientas de financiación, como factores clave para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en la época de las reformas económi-

cas.

- Puesto que en este momento la capacidad para fomentar la investigación y el desarrollo depende en gran medida de la disponibilidad de fondos [Grueber and Studt, 2011], estudiar los vínculos entre el desarrollo económico, la inversión en investigación y los resultados científicos y tecnológicos, y en particular establecer relaciones entre la evolución en dicha inversión en términos macroeconómicos y la evolución de tales resultados en términos cuantitativos y medibles [Braun et al., 1993] [Pouris, 1989] [Moed et al., 1985].
- Describir determinados aspectos internacionales del sistema chino de ciencia y tecnología, y en particular la situación y evolución de sus instituciones de educación superior en relación a estándares internacionales y el rol de las llamadas universidades chinas de elite [Liu et al., 2003] [Wang, 2010a] [Liu, 2011] y los programas especiales de financiación de la investigación [Zhang et al., 2013]
- Considerar la movilidad en la educación superior y en particular, las cuatro tendencias identificadas por Chen [Chen, 2011]: La evolución en el número de estudiantes que cursan sus estudios en el exterior y la distribución de éstos, la evolución en la movilidad de los profesores y científicos, la aparición de instituciones transnacionales de educación superior y la armonización de los currículos.
- Describir la evolución reciente del sistema chino de educación superior e investigación y, en particular, elaborar un análisis cuantitativo basado en una serie de indicadores que puedan ser comparados y resumidos y ofrezcan una medida de la evolución de su perfil de forma que se considere una medida fiable de la produc-

ción científica en los términos de Vinkler [Vinkler, 1988] y Rinia [Rinia et al., 1998]. Se considerará particularmente la publicación de artículos científicos en una serie de revistas [He et al., 2005] [Tsay, 2008].

- Analizar el caso de la investigación en nanotecnología como breve estudio de caso, y en particular considerar la presencia de este sector en la política científica china, la emergencia de China como potencia en la materia y la producción científica en términos de artículos, patentes, productos y procesos.

Estos objetivos se concretan en las siguientes hipótesis:

- H1.** Los resultados científicos del sistema chino de ciencia y tecnología han crecido por encima de la media mundial en las dos últimas décadas, y éste se está transformando en un actor relevante en la escena internacional.
- H2.** El crecimiento de la financiación de la I+D y el rol predominante de una industria respaldada por el gobierno ha transformado la economía china, que se está enfocando hacia productos tecnológicos de mayor valor añadido.
- H3.** Este énfasis industrial influye en el perfil de la investigación que se financia en China, y concretamente en el hecho de que se promueve la investigación aplicada en detrimento de la investigación básica.
- H4.** El sistema chino de investigación y desarrollo es menos eficiente que sus homólogos occidentales, si se consideran resultados de investigación medibles en términos bibliométricos y el esfuerzo invertido

para lograrlos en términos de Producto Interior Bruto (GDP) destinado a la investigación y capital humano.

- H5.** Los programas especiales de financiación han tenido una importancia creciente en la política científica china desde comienzos de la década de 1980 y han influido de manera significativa en la distribución de los resultados de investigación.
- H6.** El desarrollo científico y tecnológico ha sido desigual, y logros muy significativos en determinados campos prioritarios conviven con un desarrollo más limitado de otros. En términos generales, este modelo de desarrollo podría ser análogo a otras economías industriales de su entorno que iniciaron su desarrollo económico décadas antes que China, como es el caso de Japón y Corea del Sur.
- H7.** La internacionalización del sistema chino de educación superior, que es un fenómeno muy reciente [Liu, 2011], se ha incrementado en los últimos años y está alineada con una estrategia utilitarista al servicio del crecimiento económico.
- H8.** La presencia de las universidades chinas en el sistema internacional es todavía reducida, aunque creciente. Un pequeño número de instituciones lideran el sistema chino y acumulan la mayor parte de los resultados, mientras la mayor parte de las instituciones se encuentran lejos de los estándares internacionales.
- H9.** La distribución geográfica de los resultados académicos, en términos de participación de las instituciones chinas en resultados de investigación a nivel internacional, es muy desigual. Un número pequeño de áreas y de instituciones concentra una alta proporción de recur-

sos (financiación, instalaciones de investigación), capital humano (estudiantes de doctorado, estudiantes internacionales) y resultados de investigación.

**H10.** La nanotecnología es un sector que puede ilustrar el desarrollo de la política científica china en las últimas décadas y los resultados de ésta, ya que forma parte de los programas de financiación citados en H5 y su desarrollo se nutre de los logros alcanzados en áreas de conocimiento con aplicación industrial referidas en H6.

## **Capítulo 2**

# **ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Un número de estudios han analizado el marco que supone la política científica china y su evolución desde el inicio de las reformas económicas de Deng Xiaoping [Huang et al., 2004].

Esta tesis aborda el análisis histórico del sistema científico y tecnológico de la PRC desde su fundación en 1949 y en particular desde la época de las reformas, considerando la política de innovación nacional, es decir, el conjunto de acciones políticas dirigidas a mejorar la cantidad o la calidad de las actividades innovativas, y en particular la creación, adaptación o adopción de nuevos procesos, productos o servicios, o la mejora de éstos [European Commission, 2010]. Desde la emergencia del concepto de «Sistema Nacional de Innovación» a final de la década de 1980, varios investigadores han desarrollado un marco teórico para comparar diferentes sistemas [Nelson, 1993] [Liu and White, 2001] [Shyu et al., 2001] [Chang and Shih, 2003].

El sistema chino, sin embargo, presenta grandes diferencias en lo referente a la política científica o de innovación con los países occidentales y en cualquier caso, el estudio detallado del todo el sistema escapa al ámbito de esta tesis. Con la perspectiva histórica de la evolución del sistema científico y tecnológico desde la fundación de la PRC en 1949, se estudiarán determinados aspectos fundamentales de su estructura interna como son: la orientación hacia el desarrollo económico [Li, 2004]; la importancia de las prioridades científicas y los programas específicos [Liu et al., 2003] [Wang, 2015] [Phalkey and Wang, 2006] y grandes proyectos [Cao, 2002] [Cao et al., 2006] [Springut et al., 2011]; el proceso de internacionalización del sistema chino [Waechter, 2004] [Dang, 2011] [Chen, 2011] [Li et al., 2008]; el sistema de universidades chinas de elite [Zhang et al., 2013] [OECD, 2008] y la investigación en nanotecnología como estudio de caso [Bhattacharya and Bhati, 2011].

Asimismo, este análisis sienta las bases para la comparación del sistema chino con el de otros países que se desarrollará a continuación. Huang [Huang et al., 2004] comparó China con una serie de países miembros de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), empleando algunos indicadores económicos, así como de disponibilidad de fondos para la I+D, habitualmente designada como *research intensity* o Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo (GERD) y de medios humanos, incluyendo además una medida de patentes internacionales como indicador de producción tecnológica. Gu [Gu, 1995] analizó las fases iniciales de la reforma del sistema de ciencia y tecnología en China. Posteriormente, Suttmeier [Suttmeier and Cao, 1999], Liu [Liu and White, 2001], Liu [Liu and Jiang, 2001], y Cao [Cao, 2002] extendieron el análisis a las reformas después de 1995. Tomando estos estudios como referencia, la

comparación del sistema chino se extenderá ampliamente, utilizando indicadores numéricos más amplios como se detalla más adelante.

En relación a qué indicadores emplear, resulta significativo indicar que los planes chinos de ciencia y tecnología han incluido habitualmente objetivos de desarrollo económico y éstos se han cuantificado utilizando diversos indicadores, tales como la producción industrial o agrícola o el crecimiento del GDP a lograr en el periodo de duración del plan. Sin embargo, el reciente Plan Estratégico a Medio y Largo Plazo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (MLP) (2006-2020), introducido en 2006 y actualmente en vigor, incluye además indicadores bibliométricos.

Estos indicadores consisten en medidas cuantitativas de la producción científica y tecnológica que permiten evaluar de manera objetiva la evolución de la misma y que denotan no sólo el interés de la jerarquía china por la investigación científica, sino el deseo de materializar los planes de desarrollo en una mejora numérica de los resultados de sus sistema científico y tecnológico.

El término «bibliografía estadística» al parecer fue introducido por E. Wyndham Hulme en 1922 cuando impartió dos clases en calidad de Sanders Reader en Bibliografía en la Universidad de Cambridge. Posteriormente, estas clases quedaron recogidas en un libro [Hulme, 1923]. Este término se ha empleado para describir el proceso de contabilizar documentos, y con él, Hulme no sólo resume trabajos anteriores, como es caso de los resultados de Cole [Cole and Eales, 1917], sino que considera por primera vez el crecimiento de patentes en el Reino Unido y la evolución del Catálogo Internacional de Literatura Científica (*International Catalogue of Scientific Literature*), un índice de la producción científica en todas

las áreas del conocimiento iniciado en 1902.

Como recoge Hood [Hood and Wilson, 2001], el término, sin embargo, fue apenas utilizado en las siguientes décadas, y sólo fue redescubierto por Alan Pritchard [Pritchard, 1969] cuatro décadas después, para indicar que no era demasiado preciso ni descriptivo, ya que podría confundirse con la estadística propiamente dicha o con bibliografía sobre estadística. Por tanto, sugirió «bibliometría» (*bibliometrics*) como término para sustituirlo, entendiendo éste como la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos a libros y otras formas de comunicación.

Un término similar, «cienciometría» (*naukometriya*), se ha utilizado en lengua rusa para la aplicación de métodos cuantitativos a la historia de la ciencia [Dobrov and Korennoi, 1969] y puede considerarse que se solapa ampliamente con el anterior. *Scientometrics* es también el nombre de una revista académica con revisión por pares que se estableció en 1978 y que recoge artículos en relación a este área del conocimiento. El término alemán «informetría» (*informetrie*) fue propuesto por Nacke [Nacke, 1979] para designar a la parte de las ciencias de la información relacionada con la medida de estos fenómenos mediante la aplicación de métodos matemáticos y con la teoría de la obtención de información. Con el paso del tiempo, el término más empleado es bibliometría (*bibliometric* o *bibliometrics*), seguido de cienciometría (*scientometric* o *scientometrics*) e informetría (*informetrics*) [Hood and Wilson, 2001].

Desde sus primeros días y mucho antes de su aparición en los planes chinos, los métodos bibliométricos se han empleado ampliamente para medir el rendimiento académico de países, y recientemente el volumen de datos que puede procesarse en estos análisis ha crecido de tal for-

ma que es posible elaborar un perfil más completo [Schubert et al., 1989] [Pouris, 1989][Moed et al., 1985]. Price [Price, 1963] constató que la información científica crece de forma exponencial, y su volumen se duplica cada 10-15 años. Precisamente debido a la gran cantidad de información que ha de procesarse en estos análisis, los estudios bibliométricos suelen cubrir un país o un área geográfica en concreto [Yamazaki, 1994] [Van Raan, 1997] [Glaenzel, 2000], una especialidad o área de conocimiento [He et al., 2005] [Guan and Gao, 2008] [He and Guan, 2008] o un aspecto particular de la ciencia, tales como colaboraciones o instituciones [Gupta and Dhawan, 2003] [He, 2009].

Recogiendo el testigo del trabajo iniciado por Hulme y desarrollado por tantos otros, la publicación de artículos en revistas científicas y el registro de patentes han sido las dos variables más importantes a la hora de medir la evolución del sistema chino de ciencia y tecnología. En este sentido, si bien los indicadores bibliométricos pueden ofrecer una medida de la actividad científica de un determinado país o campo de investigación, una serie de publicaciones han considerado cuáles son los indicadores que pueden estimarse como una medida fiable de la producción científica [Vinkler, 1988] [Rinia et al., 1998].

Algunos de estos indicadores son la cantidad de artículos científicos publicados en una serie de revistas [He et al., 2005] [Tsay, 2008], que pueden seleccionarse según criterios científicos o geográficos y los indicadores basados en citas, es decir, información sobre el número de veces que un artículo en concreto ha sido citado por otros artículos que están registrados en la misma base de datos que el primero. Tanto el primero como el segundo se consideran medidas válidas y reveladoras para conocer el impacto y la internacionalización del trabajo científico

[Garfield and Welljams-Dorof, 1992] [Moed et al., 1985] [Vinkler, 1988]  
[Moed, 2005] [Martin and Irvine, 1983].

Durante mucho tiempo, la relación entre ciencia y tecnología se describió a través de lo que se denominó «modelo lineal», que sugiere que el cambio tecnológico sucede de forma lineal desde la invención hasta la innovación y la difusión. Éste enfatiza la investigación científica como la base de la innovación y reduce la importancia de los actores que participan del proceso de innovación después de aquélla.

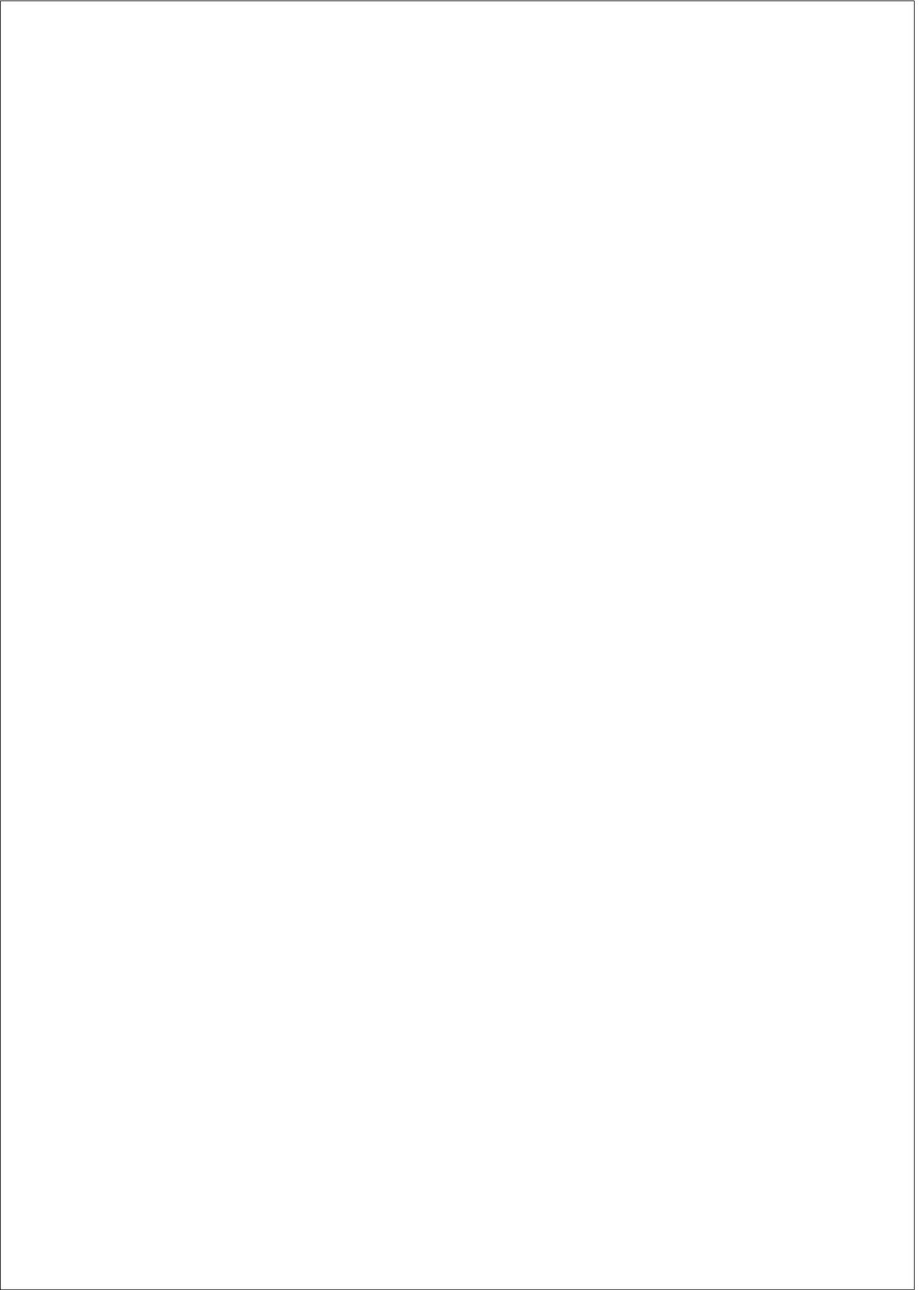
Estudios posteriores han indicado los diversos aspectos de la relación entre ciencia y tecnología y el modelo lineal ha sido sustituido por otros modelos, tales como la llamada «innovación abierta» (*open innovation*) [Chesbrough, 2003] y la conocida como «innovación en red» (*network innovation*) [Cowan and Jonard, 2004], que tienen por objeto caracterizar la relación compleja que existe entre actores en un sistema de ciencia y tecnología y que han demostrado que es demasiado simplista pensar en la tecnología como linealmente dependiente de la ciencia.

Finalmente, durante la segunda parte de la década de 1990, el modelo de la triple hélice (*triple helix*) ha ilustrado la interacción entre la academia, la industria y la administración pública. Este modelo se ha utilizado ampliamente para describir políticas científicas y de innovación [Leydesdorff and Etzkowitz, 1996] [Leydesdorff and Etzkowitz, 1998].

En este sentido, diversos autores han abordado la cuestión de los vínculos entre ciencia y tecnología en las economías avanzadas, tales como Estados Unidos [Verbeek et al., 2002], Noruega [Iversen, 2000] o el Reino Unido [Minguillo et al., 2015]; también se han hecho estudios en base a un grupo de países [Meyer, 2006]. Bhattacharya [Bhattacharya, 2004], por su

parte, cartografió la actividad inventiva y del cambio tecnológico comparando indicadores de patentes de India y China. En todos estos casos, los indicadores bibliométricos se han adoptado para evaluar la producción y para medir la relación entre ciencia y tecnología.

En el caso particular de China, Guan [Guan and He, 2007] provee una descripción de la relación entre ciencia y tecnología a nivel macroeconómico con el objeto de evaluar las asociaciones entre actividad científica y resultados tecnológicos en China, basándose en los indicadores bibliométricos de patentes. Así, los análisis del número de patentes concedidas puede ayudar a describir el sistema científico y tecnológico chino, en particular para medir la ciencia aplicada y la transferencia de conocimiento de la academia a la industria, y por tanto los vínculos entre ciencia y tecnología.



## **Capítulo 3**

# **METODOLOGÍA**

### **3.1 Evolución histórica y política científica**

Con la proclamación de la PRC en 1949, China contó por vez primera con un estado centralizado que asumió las competencias del desarrollo nacional y, siguiendo el modelo soviético, promulgó el progreso científico y tecnológico como la herramienta fundamental para incrementar la producción de su economía y el bienestar de su población. En aquel momento, menos del 1 % de la población contaba con educación superior y tan sólo 50.000 personas y unos quinientos especialistas trabajaban en la investigación en ciencias naturales en todo el país [Qiang, 1996].

Partiendo de un sistema de ciencia y tecnología en el que una red de centros de investigación toma las responsabilidades de la innovación -con universidades y empresas desconectadas de ésta-, el sistema chino ha experimentado una transformación muy compleja cuyo modelo de desarro-

llo ha girado en torno a la idea de «ciencia planificada», es decir, de seguimiento de una estrategia centralizada para la consecución de resultados científicos según una serie de objetivos fijados de antemano [Liu, 2011]. A pesar de los cambios derivados de los movimientos políticos, las prioridades científicas chinas se han mantenido asociadas a lograr desarrollos para salvar la distancia con otras naciones a través de tareas concretas u objetivos científicos [Phalkey and Wang, 2006].

Con el objeto de comprender mejor la evolución de este sistema, se considerarán los siguientes factores:

1. El establecimiento de los principales organismos de política científica, tales como comisiones, agencias, ministerios, academias, etc.
2. Legislación, objetivos, prioridades, directivas científicas y las llamadas «decisiones»: cambios más significativos en la orientación de la política científica, en el contexto de las reformas económicas iniciadas al final de la década de 1970.
3. La evolución del sistema chino de innovación y de la relación entre sus elementos clave (administración, universidades, centros de investigación, empresas...).
4. El sistema de educación superior y su participación en la docencia, la investigación y la transferencia de conocimiento.
5. El contexto económico, y concretamente la producción agrícola e industrial, el volumen del comercio y la inversión, etc. En relación a esto, se considerará especialmente el proceso de desregulación y privatización de Deng y sus sucesores y su política fiscal.

6. El contexto internacional, y en particular la relación con la Unión Soviética (durante la primera etapa de la PRC) y Occidente (especialmente durante el periodo de reforma), en lo referente a la influencia en política científica, inversión, intercambios, etc.
7. Las características clave del sistema chino de ciencia y tecnología tras la consolidación de las reformas, y en particular las prioridades científicas y grandes proyectos, el «desarrollo científico», la «innovación soberana», el proceso de internacionalización del sistema chino y el sistema universitario.

## 3.2 Inputs del sistema de I+D

Con el objeto de basar el proceso de análisis del cambio histórico reciente del sistema chino de ciencia y tecnología en evidencia cuantitativa, se emplearán una serie de variables numéricas que puedan utilizarse como indicadores de la evolución de este desarrollo. Estos indicadores se utilizarán como la piedra angular de un estudio estadístico que pueda ser analizado y resumido para complementar la interpretación de las fuentes que documentan la evolución de China y lograr los objetivos definidos anteriormente.

El estudio bibliométrico de los resultados de investigación del sistema chino y del entorno internacional, sea en resultados más académicos tales como artículos científicos y citas o en resultados más ligados a la transferencia de tecnología como son las patentes, es decir, los *outputs* del sistema, se ha de complementar con el análisis de la otra cara del sistema,

los *inputs*. En definitiva, la promoción de la investigación y el desarrollo del capital humano depende en gran medida de la disponibilidad de fondos [Global R&D Funding Forecast, 2011] y en este sentido China no es una excepción.

La OECD recoge estadísticas anuales de sus países miembros -a los que se suman otros como China- que incluyen información sobre investigación. Se utilizarán estas bases de datos para obtener datos acerca de la inversión anual en investigación y desarrollo -incluyendo el montante y el origen de los fondos- y la evolución del personal dedicado a tareas de I+D. A estos datos de contexto se sumarán los relacionados con la actividad económica de China y de otros países con los que compararla, incluyendo el valor añadido de la producción industrial como medida cuantitativa de la actividad económica ligada a sectores intensivos en conocimiento. Estos últimos datos tienen su origen en la base de datos World Industry Service Database (WISD).

Así, mientras China dedicó el 0,57 % de su GDP a investigación y desarrollo en 1995, y el 0,9 % en 1999, esta última cifra se duplicó en 2012 y llegó al 2 % en 2014 [OECD, 2016]. El valor añadido de su producción industrial de alta tecnología se multiplicó por catorce en quince años, pasando de 25.192 en 1997 a 364.938 miles de millones de dólares en 2012 [IHS Markit, 2014]. Las cifras de inversión en I+D y producción industrial se utilizarán para ilustrar los *inputs* del sistema de ciencia y tecnología y se expresarán en Paridad de Poder Adquisitivo, un sistema que tiene en consideración las diferencias en el coste de la vida empleando como referencia una cesta de productos básicos, y que permite establecer comparaciones entre países muy diversos.

El análisis de los datos de inversión en I+D, junto con otras variables como la fuente de esta inversión (pública, privada u otra), el tipo de investigación financiada (básica o aplicada), la proporción de la población dedicada a tareas de investigación y el valor añadido de la producción industrial permitirán conocer y analizar los vínculos entre el desarrollo económico y el de la ciencia y la tecnología, para lograr el objetivo de establecer relaciones entre la evolución en dicha inversión en términos macroeconómicos y la evolución de tales resultados, y hallar una medida de la eficacia del sistema en base a estas variables.

### **3.3 Outputs del sistema de I+D**

En la presente tesis se utilizarán los datos procedentes de las bases de Thomson Reuters<sup>1</sup> y Elsevier<sup>2</sup>, que pueden emplearse para analizar el rendimiento de la investigación basándose en los indicadores anteriores. Aunque estas bases de datos no cubren todos los resultados de investigación publicados, sí representan las revistas científicas que forman el corazón de la ciencia mundial y por tanto pueden considerarse una fuente fiable para extraer información en relación a resultados académicos medibles según estándares internacionales [Larivière and Gingras, 2009] [Leydesdorff, 2012]. El número de artículos científicos publicados puede considerarse una medida cuantitativa de la producción científica de un país [Vinkler, 1988] [Rinia et al., 1998] [He et al., 2005] [Tsay, 2008].

---

<sup>1</sup>El sistema *Web of Science* de Thomson Reuters incluye las bases de datos *Science Citation Index* (SCI) y *Social Science Citation Index* (SSCI), entre otras, que cubren unas 11.500 publicaciones desde 1900.

<sup>2</sup>La base de datos *Scopus* de Elsevier incluye unas 22.000 publicaciones desde 1995.

Resulta importante mencionar que China cuenta con un ecosistema de unas cinco mil revistas científicas, de las cuales la mayoría se publican en chino [Tian, 2003]. Leydesdorff [Leydesdorff and Zhou, 2005] indica que sólo 78 revistas publicadas en chino (de las 4.420 editadas entonces) se incluían en bases de datos internacionales. Sin embargo, como señalan los autores, la habilidad de un investigador para alcanzar relevancia no sólo depende de la originalidad de su trabajo, sino de su capacidad de comunicación y de la visibilidad de sus resultados en las redes internacionales. Puesto que el objetivo de esta tesis doctoral es considerar la emergencia de China como un actor relevante en la ciencia internacional, se consideran las bases de datos internacionales y no las chinas para poder establecer una comparación entre países siguiendo criterios únicos -tal y como se hace con los datos de contexto económico- y para analizar la evolución histórica reciente de la ciencia china conforme a criterios internacionales.

De modo análogo, y como se detallará más adelante, no se consideran las patentes registradas en la oficina nacional china, la llamada Oficina Estatal de la Propiedad Intelectual (SIPO), sino las llamadas patentes triádicas, que son aquellas que se solicitan simultáneamente ante las oficinas de Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, una estadística que permite comparar los diferentes países en régimen de igualdad (puesto que la normativa a aplicar es la misma para todos los solicitantes) y evaluar el impacto internacional de sus invenciones.

Considerar estas variables para una serie de países significativos supone contabilizar un gran número de ítems. Por ejemplo, el número de artículos científicos publicados por los veinte principales países (Alemania, Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, Corea del Sur, España, Estados

Unidos, Francia, India, Israel, Italia, Japón, Países Bajos, Reino Unido, Rusia, Suecia, Suiza y Taiwán), incluidos en una base de datos, ascendió a 514.822 en 2001 y creció hasta los 662.954 en 2011 según los cálculos desarrollados en el presente trabajo basados en datos de Thomson Reuters.

Adicionalmente pueden considerarse indicadores basados en citas, tal y como el número de veces que un artículo científico en particular ha sido citado por otros artículos que estén registrados en la misma base de datos. Cuando estas bases de datos son suficientemente amplias como para ser representativas de la actividad científica conforme a estándares internacionales, este indicador se considera una medida válida y reveladora para conocer el impacto del trabajo científico, y en consecuencia una forma posible de evaluar la calidad de éste [Martin and Irvine, 1983] [Garfield and Welljams-Dorof, 1992] [Moed et al., 1985] [Vinkler, 1988] [Moed, 2005] . Para el periodo considerado, el número de citas que estos artículos recibieron, también incorporadas a esta base, se ha cifrado en más de 115 millones. Las cifras detalladas, disponibles en el capítulo 6, se emplearán para describir el sistema chino en el contexto internacional.

Las medidas de corte académico y científico como los artículos científicos y las citas que estos reciben se complementarán con unas medidas más relacionadas con tecnología y la producción industrial tales como las patentes, como ya adelantara Hulme en los inicios de la bibliometría. Puesto que es uno de los objetivos de la presente tesis estudiar el sistema chino de ciencia y tecnología de forma que éste pueda ser comparado con el de otras potencias científicas, como se ha indicado anteriormente se utilizará como indicador de la transferencia del conocimiento el número de patentes triádicas, es decir, aquellas válidas para el mismo invento registradas

en la Oficina Europea de Patentes (EPO), la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO) y la Oficina de Patentes de Japón (JPO).

Se han escogido las patentes triádicas en lugar de las patentes concedidas por las oficinas nacionales porque EPO, USPTO y JPO gestionan la mayoría de las solicitudes de patentes mundiales y porque las patentes concedidas por estas tres oficinas pueden considerarse dirigidas al mercado mundial y a la altura de los estándares internacionales. De modo análogo a lo que sucede con las publicaciones científicas y las citas a artículos, en el caso de las patentes triádicas, la cantidad de ítems a considerar es numerosa y creciente. A efectos ilustrativos, ésta ascendió de 41.837 patentes concedida a los 20 países con mayor actividad investigadora en 2001 a 47.233 en 2011, según los cálculos que se detallan en el capítulo 6.

Las cifras recabadas se estructurarán en una base de datos y se tratarán con el lenguaje de programación «R» para su análisis estadístico, en particular para cuantificar la evolución histórica de los indicadores, identificar posibles relaciones entre las variables, y para la obtención de gráficos que ilustren los resultados. R es un programa de libre distribución.

Por último, resulta necesario señalar que el presente documento sólo considera la cantidad y la calidad de la producción científica china -y la de otros países con objeto de establecer una comparación- en base a las variables mencionadas anteriormente, que constituyen indicadores internacionalmente aceptados como medidas válidas de la producción académica; no se ha hecho uso de indicadores nacionales. Cuestiones como el rigor del proceso de revisión por pares en China [Barbash, 2015] [Sonmez, 2015], la presión para publicar que sufren los investigadores [Qiu, 2010] [Li, 2015] o los problemas del plagio y del fraude académ-

mico [Wong, 2010] [Cyranoski, 2010] [Cyranoski, 2012], que numerosos autores consideran generalizados en China [Sharma, 2011] [Peng, 2011] [Seife, 2014], quedan fuera del ámbito de este estudio.

### **3.4 Medida de la internacionalización**

Waechter [Waechter, 2004] considera que el concepto de internacionalización en el ámbito de la educación en Occidente estaba inicialmente relacionado con la movilidad, y que fue posteriormente extendido con el reconocimiento mutuo de currículos académicos y de grados. Compara así la «vieja» internacionalización -aquellas actividades en las que una persona cruza una frontera, sea físicamente (movilidad) o mentalmente (grados internacionales, estudios comparativos)- con la «nueva» internacionalización -que implica cuestiones regulatoras o sistémicas (como es el caso de los programas especiales de financiación o el establecimiento de prioridades científicas)-. Ambas se considerarán posteriormente.

Un término próximo a internacionalización y ampliamente utilizado es globalización, comúnmente asociado a la idea de la «Sociedad del Conocimiento» [Scott, 2003], que a su vez se basa en la idea de que el conocimiento se ha convertido en el recurso principal de las economías avanzadas y que por ello, invertir en educación superior e investigación científica para producir conocimiento y personal altamente cualificado y productos tales como patentes comerciales es un factor clave para lograr el crecimiento económico.

En el contexto educativo, la globalización de la educación superior puede

considerarse como un reflejo de la evolución de la enseñanza y la investigación científica a escala mundial [Chen, 2011]. La internacionalización es además, en un sentido cultural, una de las tres direcciones en las que la educación superior ha de desarrollarse según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) [UNESCO, 1998], además de la calidad y la relevancia. Un factor que se considerará detenidamente en la presente tesis consiste en que, mientras Occidente ha considerado la internacionalización de su educación superior en el sentido de «integrar la dimensión internacional, intercultural o global en la educación post-secundaria» [Knight, 2004] [Liu, 2011] -y por tanto este proceso está relacionado con la cooperación, la comunicación y el intercambio de estudiantes, además del acceso a otros contenidos, técnicas, idiomas y currículos- en el caso del gobierno chino, este proceso de transformación de la educación superior se ha ligado íntimamente a sus objetivos de desarrollo de las capacidades de ciencia y tecnología de la nación y por tanto ha tomado un rumbo diferente del habitual en Occidente.

Las instituciones de educación superior desempeñan un papel muy significativo en el sistema de ciencia y tecnología. En 1999, el gobierno chino publicó un plan de acción para desarrollar la educación, que formalizó el objetivo de desarrollar universidades «de nivel mundial». Se analizará más adelante cómo China ha invertido intensamente en un grupo muy reducido de instituciones (39 como núcleo y hasta 118 en un grupo más extenso, de un total de casi dos mil centros) con el objeto de transformarlas en universidades cuya investigación esté a la altura de los estándares internacionales y cuyo trabajo pueda transformar la economía para que se base en la innovación en lugar de la imitación [Li et al., 2008]. Se con-

siderará además la proporción de estudiantes con educación secundaria y superior [Jiang, 2011] [Dobbs et al., 2012] y los efectos de ésta en el sistema.

Así pues, la idea de tener universidades de nivel mundial forma parte de la política científica china. No obstante, no existe un consenso en cuanto a lo que esto supone en términos concretos. Mohrman [Mohrman et al., 2008] identifica la etiqueta con un modelo emergente global de universidad de investigación, que queda definida por tener una misión que trasciende los límites del estado-nación, ser intensiva en investigación, tener nuevos roles para los profesores, tener financiación de fuentes diversas, tener nuevas relaciones con sus socios, tener alumnos internacionales, desarrollar una mayor complejidad interna y cooperar internacionalmente con instituciones similares.

La presente tesis abordará el análisis de determinados aspectos internacionales del sistema chino de ciencia y tecnología, y en particular la situación y evolución de sus instituciones de educación superior en relación a estándares internacionales y el rol de las llamadas universidades chinas de elite, teniendo en mente que éstas han de aproximarse a la definición de Mohrman.

También se considerará la movilidad en la educación superior y en particular, las cuatro tendencias identificadas por Chen [Chen, 2011]: La evolución en el número de estudiantes que cursan sus estudios en el exterior y la distribución de éstos, la evolución en la movilidad de los profesores y científicos, la aparición de instituciones transnacionales de educación superior y la armonización de los currículos.

Para acometer este análisis, se identificará un número de instituciones

de educación superior muy productivas como el primer paso de un estudio bibliométrico, partiendo de los rankings mundiales de universidades. Estas publicaciones incluyen una lista ordenada de las mejores universidades obedeciendo a diversos criterios, y principalmente a los resultados de investigación. Puesto que no existe un único ránking aceptado como estándar internacional, los tres más usados se emplearán para ilustrar la posición de las universidades chinas a nivel mundial: el Ránking Académico de Universidades Mundiales (ránking de Shanghái) (ARWU), el Ránking Universitario de Times Higher Education (THE) y el Ránking Universitario de Quacquarelli Symonds (QS).

La presencia de universidades chinas en estos rankings es todavía relativamente reducida, a pesar de un importante crecimiento registrado en la última década. Sin embargo, el estudio de este indicador, complementado con los resultados bibliométricos, puede ayudar a comprender mejor la evolución del sistema chino de ciencia y tecnología. No obstante, el uso de esta herramienta requiere un contexto, y en particular la estrategia nacional china que establece un número de universidades clave como la piedra angular de su desarrollo [Marszal, 2012] [Baty, 2010] [CHERPA, 2010].

De este modo, se considerarán en esta tesis dos iniciativas gubernamentales en este sentido: El Proyecto 985, que incluye financiación nacional y local para un pequeño grupo de universidades de elite [Liu et al., 2003] [Wang, 2010a] y el Proyecto 211, que tiene por objeto elevar los estándares de investigación de universidades de alto nivel y contribuir al desarrollo económico. Las implicaciones de la formación de estos grupos especiales de universidades se considerarán en los próximos capítulos.

Este análisis, desarrollado en el capítulo 6, está alimentado con datos eco-

nómicos procedentes de bases de datos de la OECD y otras fuentes, de datos de producción industrial, de resultados bibliométricos de investigación (artículos publicados en revistas científicas, citas recibidas por estos artículos, patentes internacionales concedidas) y datos de educación internacional y movilidad; todos ello se aplican tanto a China como a un número de países para establecer comparaciones.

Su objeto es responder a las primeras preguntas planteadas por esta tesis y en particular, a cómo los investigadores chinos han incrementado su participación en la ciencia mundial, cuál es su productividad -comparada con la de otras potencias científicas- y cómo puede explicarse ésta, si existen determinadas áreas e investigación y objetivos que sean prioritarios, cuál es el rol de las universidades de elite (definidas en los rankings y/o en los programas de financiación prioritaria) y qué aspectos internacionales del sistema chino de educación se están promoviendo y por qué.

### **3.5 Perfil del sistema de I+D**

Como ya se ha mencionado, a la hora de profundizar en el análisis bibliométrico de un país, dada la cantidad de datos numéricos a considerar, es habitual que las medidas cubran un área geográfica [Yamazaki, 1994] [Van Raan, 1997] [Glaenzel, 2000], una especialidad de investigación en concreto [Guan and Gao, 2008] [He and Guan, 2008], o un aspecto particular de la practica científica, tal y como la colaboración o sus instituciones [Gupta and Dhawan, 2003] [He, 2009]. Con esta limitación en mente, el siguiente paso de este ejercicio de investigación será abordar una cuestión concreta del sistema chino de I+D: una medida de cómo éste produce

determinados resultados en diferentes áreas del conocimiento.

Una vez sentadas las bases del análisis del sistema chino y ubicado éste en el contexto internacional en los términos antes expresados, en el capítulo 7 se aborda la cuestión de cuál es el perfil de este sistema, y en particular, cómo se distribuye el esfuerzo de investigación, y por tanto sus resultados, entre las diferentes áreas del conocimiento. Esta cuestión se ha de abordar de un modo que permita que los resultados sean comparables históricamente -de forma que pueda considerarse cuantitativamente su evolución- y también internacionalmente (es decir, contrastar el perfil del sistema chino con el de otros países relevantes científicamente). Para ello se hará uso del llamado Índice de Actividad [Hu and Rousseau, 2009]. Éste permite conocer y analizar la producción científica de un país, contabilizando sus resultados de investigación en un área en concreto y comparándolos con los resultados de otros países en el mismo área.

Así, sobre la base de un estudio de las características más amplias del sistema chino de ciencia y tecnología, se desarrollará un análisis pormenorizado que permitirá conocer el detalle de la producción científica siguiendo criterios bibliométricos y responder a la cuestión de si el sistema chino se encuentra equilibrado en términos de sus áreas de conocimiento prioritarias. Con este objeto, se definirán ocho áreas: Artes y humanidades, Ciencias biológicas, Ciencias físicas, Ciencias medioambientales, Ciencias sociales, Ingeniería, Matemáticas y Medicina. Los resultados de investigación analizados se clasificarán previamente utilizando esta división para conocer el perfil del sistema chino. Esta clasificación no aspira a ser universal, pero ofrece un aproximación coherente que puede utilizarse para desarrollar un estudio diacrónico de la evolución del sistema chino en un entorno internacional que permita responder a las preguntas

planteadas.

Con el objeto de obtener una visión suficientemente amplia, se recopilarán datos de las dos últimas décadas, y en particular recuentos anuales de publicaciones científicas desde 1994 a 2014. El contexto internacional se obtiene al considerar no sólo el sistema chino, sino dos naciones de su entorno que iniciaron su desarrollo décadas atrás y que podrían mostrar un perfil similar al chino (Japón y Corea del Sur), además de un número de potencias científicas establecidas: Alemania, Canadá, España, Estados Unidos, Francia y el Reino Unido. Estos países se han escogido por ser naciones industriales cuyo sistema científico hace énfasis en diferentes áreas del conocimiento y que, por tanto, pueden ayudar a dotar de contexto al análisis del sistema chino.

### **3.6 Estudio de caso**

Los dos ejercicios anteriores permitirán discernir si se verifican algunas de las hipótesis enunciadas anteriormente, ya que cubren y detallan las cuestiones abordadas por las hipótesis **H1** a **H9**. Para profundizar en la investigación, a estos análisis cuantitativos del sistema chino de I+D en su totalidad se va a añadir el estudio de un caso suficientemente representativo, que permita ilustrar el conjunto de características y circunstancias particulares enumeradas anteriormente, concretadas en un ejemplo especialmente relevante.

Considerando las afirmaciones que se hacen del sistema chino en las hipótesis, y con objeto de desarrollar un estudio de un caso clave, este ejemplo

tendría que cumplir con el mayor número posible de las siguientes condiciones para ser tan representativo de la evolución histórica reciente de la ciencia china como sea posible:

1. Formar parte del crecimiento del sistema chino de ciencia y tecnología y de su establecimiento como un actor clave en el sistema mundial de I+D **[H1]**.
2. Tener aplicación industrial y estar orientado hacia productos tecnológicos de mayor valor añadido **[H2]**.
3. Estar relacionado con el énfasis industrial de la política científica china y con la investigación aplicada más que con la básica **[H3]**.
4. Reflejar la menor eficiencia del sistema chino **[H4]**.
5. Formar parte de los programas especiales de financiación de la investigación desarrollados por el gobierno chino **[H5]**.
6. Formar parte de un modelo de desarrollo similar al seguido por Japón y Corea del Sur **[H6]**.
7. Formar parte de una estrategia de internacionalización al servicio del crecimiento económico **[H7]**.
8. Presentar una distribución geográfica de resultados científicos desigual **[H8,H9]**.

Por tanto, como ejemplo sectorial del proceso histórico reciente del desarrollo del sistema chino de ciencia y tecnología se tomará el área de la nanotecnología, que ha sido destacada como sector clave en la política científica china en el vigente MLP (2006-2020), y forma así parte de las

prioridades chinas para su esfuerzo científico al servicio del crecimiento económico.

La investigación en nanotecnología requiere de un importante trabajo previo en determinados sectores del conocimiento (ciencias físicas, químicas, ingeniería, etc.) y supone un excelente ejemplo de investigación aplicada dirigida a la obtención de productos industriales de mayor valor añadido. De hecho, las posibilidades que la nanotecnología ofrece, tanto para mejorar procesos industriales como para poner en práctica otros nuevos, la convierte en una tecnología clave para países en desarrollo (por su aplicación a la agricultura, la energía, el tratamiento de aguas, etc.) y ofrece una ventana de oportunidad única para alcanzar el nivel tecnológico de las naciones más industrializadas, que ha sido precisamente el objetivo primordial de los programas chinos de ciencia y tecnología desde la fundación de la República Popular, y que también puede encontrarse en los planes científicos de naciones como Japón y Corea.

La nanotecnología ha sido estudiada por Meyer [Meyer, 2006] y Hullman [Hullman and Meyer, 2003] [Hullman, 2007], principalmente en las economías de los países miembros de la OECD. Por su parte, Huang [Huang and Wu, 2012] y Shapira [Shapira and Wang, 2009] han examinado la emergencia de China en el sector y Ye [Ye et al., 2012] y Tang [Tang and Shapira, 2011] han aplicado indicadores bibliométricos como prueba de su progreso científico en el área específica de la nanotecnología.

Sobre la base de los capítulos anteriores y siguiendo el ejemplo de Bhattacharya [Bhattacharya et al., 2012], en el capítulo 8 se consideran indicadores bibliométricos tales como patentes y artículos científicos publi-

cados, pero también se tendrán en cuenta factores como el desarrollo de estándares y la innovación en productos y procesos, y en particular el desarrollo de nuevas innovaciones registradas internacionalmente, para estudiar el desarrollo chino en nanotecnología como ejemplo empírico de la evolución de su sistema de innovación y de la aplicación de sus planes científicos.

Además, para el estudio del impacto de la nanotecnología a escala regional, en lo referente a innovación industrial se ha elaborado una base de datos sobre patentes internacionales desde 1994 hasta 2012 (último año con datos completos disponibles) basada en las estadísticas de la OECD y clasificada por regiones, con un total de 25.938 ítems. Considerando sólo el caso de China más cinco países de referencia (Japón, Corea del Sur, Estados Unidos, Alemania y el Reino Unido) escogidos por su relevancia en el campo, el número total de ítems en este periodo asciende a 20.478.

Con esta información cuantitativa se considerará la implantación del sistema de innovación y se identificarán los principales hubs de innovación, comparando su evolución histórica con las de otros países con significativa inversión en nanotecnología. Esto permite tomar una medida de la distribución geográfica de los resultados científicos. Se introduce además el Índice Nanotecnológico, que de forma similar al Índice de Actividad proporciona una medida del peso del sector en el sistema científico. Este estudio histórico completa el estudio de caso y complementa el análisis de la importancia de determinados focos de investigación y desarrollo llevado a cabo en el capítulo 6, concretando un estudio de caso tan representativo de la evolución histórica reciente de la ciencia china como es posible, que permite culminar la validación de las hipótesis formuladas.

## **Capítulo 4**

# **ANTECEDENTES Y REFORMA DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA R.P. CHINA**

### **4.1 Marco temporal de los planes chinos**

La tradición marxista siempre ha considerado la ciencia y la tecnología como la piedra angular del cambio económico y social, al considerarlas una fuerza dinámica, revolucionaria, íntimamente ligada a la fuerza de producción. Para Mao, la experimentación científica era, junto al desarrollo de las fuerzas productivas y la lucha de clases, una de las mayores fuerzas para el establecimiento de la sociedad socialista. Resulta signifi-

cativo señalar que la República Popular hizo del desarrollo tecnológico una de sus prioridades, a diferencia de los gobiernos que la antecedieron:

«Se harán esfuerzos para desarrollar las ciencias naturales con el objeto de servir al fomento de la industria, la agricultura y la defensa nacional. Se gratificarán los descubrimientos científicos y las invenciones. Se promoverá la divulgación del conocimiento científico».

*Constitución del Congreso Consultivo del Pueblo Chino.*

*Artículo 43.*

Tras décadas de caos, enfrentamiento e injerencia de las naciones extranjeras, con la imitación del modelo de desarrollo soviético en la década de 1950, China contó por vez primera con un estado centralizado que asumió las competencias del desarrollo nacional y promulgó el progreso científico y tecnológico como la herramienta fundamental para incrementar la producción y el bienestar y para lograr la independencia de los gobiernos extranjeros.

En el momento de la fundación de la PRC en 1949, apenas 50.000 personas y unos 500 especialistas trabajaban en la investigación en ciencias naturales y sólo existían en China 207 instituciones de educación superior con un total de 117.000 alumnos. Dada la magnitud de la población del país, éstos sólo representaban un 0,2 % del censo. Además, dado el desigual nivel de desarrollo de las distintas regiones del país, el 41 % de los estudiantes universitarios se concentraban en sólo seis ciudades, y las regiones menos desarrolladas apenas contaban con infraestructuras [Qiang, 1996].

Los organismos científicos y tecnológicos chinos siguieron el ejemplo de

la Unión Soviética en lo referente a la organización, gestión, estrategia y educación. En este contexto, los planes quinquenales consisten en una serie de medidas económicas establecidas por el Comité Central<sup>1</sup> del Partido Comunista Chino (CCP), siguiendo el modelo de planificación económica propia de las economías comunistas. En estos planes se establecen los objetivos de crecimiento, se detallan las estrategias y se detallan las reformas llegado el caso. Si bien no entra en el ámbito de esta tesis entrar en el detalle de estas herramientas de planificación económica, la secuencia de los planes quinquenales ofrece un marco temporal de referencia tal y como muestra la figura 4.1 y sirven como modelo para el establecimiento de planes específicos de política científica. Desde su fundación, se han desarrollado trece planes quinquenales en la PRC:

**Primer Plan (1953-1957).** Se centró en la construcción de proyectos industriales con ayuda de la Unión Soviética, en desarrollar cooperativas agrícolas y en transformar la industria y el comercio privados en otros en manos del Estado.

**Segundo Plan (1958-1962).** Pretendía continuar el Primer Plan, en particular en lo referente a la industria pesada y la colectivización, pero fue interrumpido por el desastre del «Gran Salto Adelante», que llevó a la economía china al colapso.

**Tercer Plan (1966-1970).** Se centró en la recuperación de la agricultura para resolver las necesidades básicas de la población y se otorgó máxima prioridad a la defensa en preparación de una eventual guerra.

---

<sup>1</sup>El Comité Central del CCP es el máximo órgano de autoridad del partido único en China.

**Cuarto Plan (1971-1975).** Se fijó un objetivo de crecimiento anual de la producción agrícola e industrial del 12,5 % y se presupuestaron 130.000 millones de RMB (unos 18.000 millones de euros) para la construcción de infraestructuras.

**Quinto Plan (1976-1980).** El plan definía las bases para el establecimiento de un sistema industrial y económico independiente, si bien en 1978 se corrigió el énfasis del plan hacia la modernización de las estructuras.

**Sexto Plan (1981-1985).** Se trata de un plan más detallado que sus predecesores, sigue los nuevos principios de «ajustar, reformar, rectificar y mejorar», establecidos tras el inicio de las reformas.

**Séptimo Plan (1986-1990).** Otorga a la reforma la máxima prioridad y fija objetivos de estabilidad presupuestaria. Se establecen además los nueve años de educación obligatoria actualmente en vigor.

**Octavo Plan (1991-1995).** Se desarrolló un nuevo modelo fiscal basado en el establecimiento del IVA, se modificó el marco regulatorio y se potenció la función del mercado en la asignación de recursos.

**Noveno Plan (1996-2000).** Se considera el primer plan desarrollado bajo lo que los chinos denominan «economía socialista de mercado» y tiene como objetivo lograr la cuadruplicación del GDP de 1980 en 2000.

**Décimo Plan (2001-2005).** Además de las medidas económicas, prevee que la inversión en I+D alcance el 1,5 % del GDP, así como reforzar las capacidades científicas y tecnológicas del país.

**Undécimo Plan (2006-2010).** Eleva la inversión en I+D al 2 % del GDP, una cifra que se ha alcanzado recientemente y que supera la de economías avanzadas tales como el Reino Unido (1,7 %) y España (1,22 %) <sup>2</sup>.

**Duodécimo Plan (2011-2015).** Traslada el énfasis del crecimiento de la inversión al consumo interno, considera el problema de la desigualdad y eleva la cifra de inversión en I+D hasta el 2,2 % del GDP.

**Decimotercer Plan (2016-2020).** Incluye el plan «Made in China 2025», destinado a promover los productos chinos y a mejorar la transferencia de los resultados académicos a la producción industrial.

En base a sus planes quinquenales, China ha desarrollado además una serie de planes científicos a medio y largo plazo en las seis últimas décadas, que comienzan con el Plan Científico a Largo Plazo de 1956, elaborado con la asistencia de la URSS y siguiendo los planteamientos de desarrollo de la Unión Soviética. Son los más relevantes:

- Plan Científico a Largo Plazo (1956-1967).
- Plan Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (1963-1972).
- Plan Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (1977-1985).
- Plan Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (1985-2000).

---

<sup>2</sup>Oficialmente con ocasión del undécimo plan, el término se cambió a «directriz» o «línea general», reflejando la transición hacia una cierta economía de mercado.

- Plan Estratégico a Medio y Largo Plazo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (2006-2020, actualmente en vigor).

La figura 4.1 sitúa planes quinquenales y planes científicos, así como el establecimiento de los principales organismos institucionales de política científica, las decisiones (cambios más significativos en la orientación de la política científica, en el contexto de las reformas) y los programas de financiación de la investigación más importantes; el papel de los anteriores en el desarrollo del sistema chino de ciencia y tecnología se detallará más adelante.

## **4.2 Antecedentes**

En 1953, con el régimen ya consolidado, se inicia el primer Plan Quinquenal (1953-57), que hacía énfasis en el desarrollo de la industria pesada. Siguiendo el ejemplo de la industrialización de la Unión Soviética en su primera etapa, el 42,5 % de la inversión del plan se destinó a la industria (por sólo un 7,1 % a la agricultura) y de ésta, el 85 % se destinó a la industria pesada, que se estructura en torno a grandes proyectos, intensivos en capital, cuya tecnología procedía de la URSS [Wang, 1993]. El énfasis en la investigación aplicada, con el objeto de trasladar los resultados a la industria, y en particular a la industria pesada, marcará las primeras décadas de la política científica de la República Popular, a pesar de las oscilaciones y la inestabilidad política de la época.

Se estima que durante la década de 1950, la Unión Soviética entregó material industrial por valor de 3.000 millones de dólares, completó 130

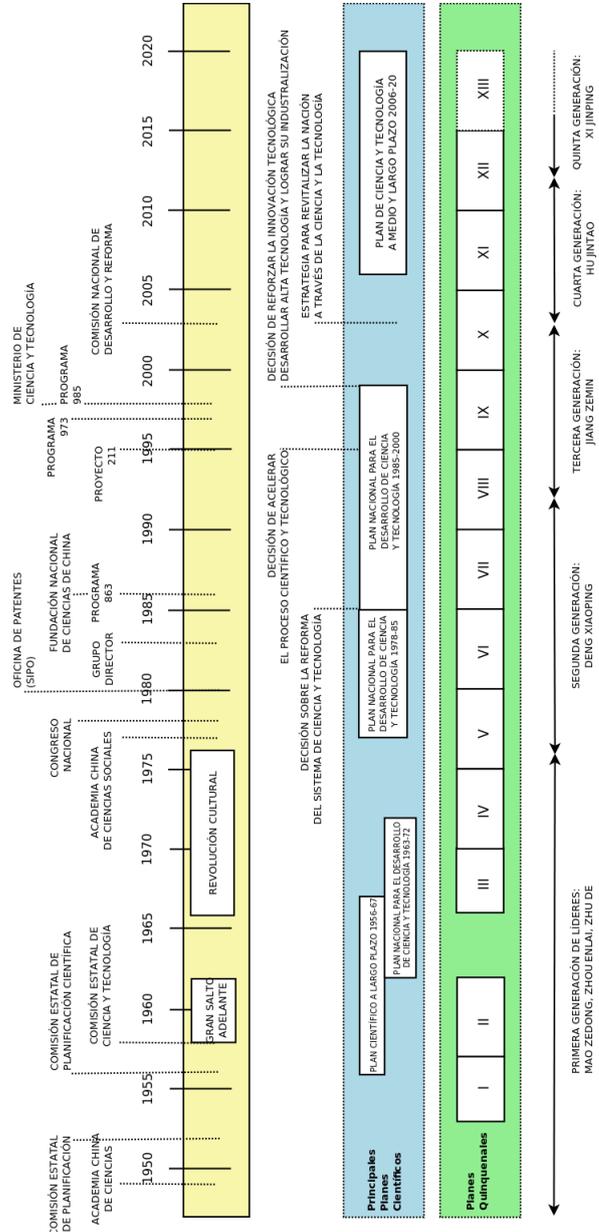
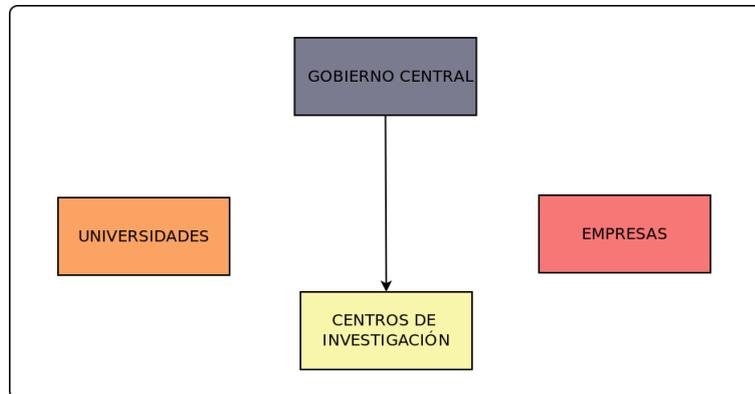


Figura 4.1: Línea temporal del sistema chino de I+D.

proyectos (en particular fábricas de maquinaria) y contribuyó a la base del conocimiento chino con más de diez mil expertos en industria, salud, educación e investigación, además de la formación de decenas de miles de científicos, ingenieros y estudiantes [Wang, 1993]. Unos 15.000 estudiantes viajaron con becas a la Unión Soviética y a Europa del Este entre 1951 y 1960 [Liu, 2011].

De hecho, el régimen de Mao tomó la URSS como referente en materia de educación superior, adoptando un modelo en el que una red de centros de investigación toman las responsabilidades de la innovación, y ésta otorga a la defensa una mayor prioridad que a la producción industrial. Resulta muy relevante que estas instituciones estaban desconectadas de las empresas y de las universidades [Wang and Zhou, 2011]. Estas últimas dependían del Ministerio de Educación, de modo que el Gobierno central monopolizaba la financiación y la gestión de la investigación, que se caracterizaba por el apoyo institucional directo de la Administración a los centros de investigación, con las universidades y las empresas excluidas del sistema de I+D, tal y como muestra la figura 4.2.

En 1951 se empezó a reorganizar la educación superior. En un proceso que se prolongaría hasta 1957, las universidades se dividieron en aquellas de carácter general y aquellas concentradas en la ciencia y la tecnología. Se promovió el estudio de las ciencias físicas y la ingeniería, y en consecuencia, se produjo un gran aumento de los estudiantes de disciplinas científicas, mientras que los dedicados a ciencias sociales y humanidades descendieron notablemente. La orientación del esfuerzo docente e investigador hacia las ciencias aplicadas será muy importante a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, incluso tras el inicio de las reformas económicas de las décadas de 1970 y 1980, tal y como se analizará en el



**Figura 4.2:** El sistema chino de I+D durante el maoísmo.

capítulo 7, centrado en el perfil del sistema chino de ciencia y tecnología.

Paralelamente a la reorganización del sistema chino de educación superior, en junio de 1955 se estableció la División Académica de la Academia China de Ciencias (CAS). Esta medida permitió que los científicos chinos más relevantes estuvieran presentes y pudieran participar en el desarrollo de la ciencia y tecnología china de una forma más activa [Gu, 1995].

En 1956, el primer ministro Zhou Enlai anuncia las directivas de un nuevo Plan Quinquenal (1958-1962), que como el anterior se basaba en el desarrollo de grandes proyectos industriales y en la adquisición de material soviético a gran escala. La producción de acero, por ejemplo, se limitaba en 1953 a 1,35 millones de toneladas métricas, una cifra comparable a la producción estadounidense de 1867 [Kirkland, 1961]. Con la asistencia de la Unión Soviética esta cifra se cuadruplicó durante la vigencia de este primer plan y llegó a los 5,35 millones de toneladas métricas en cuatro años, una cifra que sin embargo era ligeramente inferior al acero producido por Estados Unidos en 1897 [Berberoglu, 1987].

La recién creada Academia China de Ciencias (CAS), heredera de la Academia Sinica (Nanjing) y de la Academia Nacional de Ciencias (Beijing), fue dividida en cinco áreas (matemáticas, física, y química; ciencias de la vida; ciencias de la Tierra; ciencias técnicas; ciencias sociales), y también en este caso su actividad se centró en la aplicación práctica de los resultados de la investigación, dadas las imperativas necesidades de desarrollo económico. Éstas venían definidas en el primer Plan Quinquenal, en el que, en la línea de las prioridades soviéticas, se destacaba la energía nuclear, el hierro y el acero, el petróleo, la sismología, la explotación fluvial, la geografía, la botánica, los antibióticos y los polímeros, además de las cuestiones políticas, siempre presentes en el modelo maoísta.

En general, la investigación básica se concentró en la Academia, mientras que se crearon institutos de investigación ligados a los ministerios (Agricultura, Salud Pública, Defensa y los ministerios industriales), dedicados a la investigación aplicada y a la ingeniería en colaboración con la industria. Dicha colaboración planteó una diferencia de entendimiento que se mantendría hasta el fin del maoísmo: los científicos defendían la importancia de la investigación a largo plazo como un proceso muy exigente en tiempo y recursos que no podía reducirse a proyectos menores de aplicación inmediata [Wang, 1993].

1956 fue un año crítico para la ciencia china. Así, en marzo de 1956 se funda la Comisión Estatal de Planificación Científica (SSPC), que establecería doce áreas de investigación en el llamado primer Plan Científico a Largo Plazo (1956-1967) de la PRC. Este primer plan científico -y el que seguiría a continuación, el Plan Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (1963-1972)- sentó las bases del modelo de desarrollo de «ciencia planificada», es decir, de seguimiento de una estrategia cen-

tralizada para la consecución de resultados científicos según una serie de objetivos fijados de antemano [Liu and Jiang, 2001]

El plan tenía un diseño «de arriba a abajo» *Un diseño de arriba a abajo implica que las directrices y prioridades son impuestas por los altos niveles de la Administración en lugar de por los científicos y técnicos que las implementan.* y su propósito era concentrar los recursos de la Academia y los institutos en aquellas actividades de investigación y desarrollo que se consideraban prioritarias, en general ligadas a la industria pesada y a la defensa. El plan tenía dos motivaciones fundamentales: seleccionar importantes desarrollos a alcanzar para salvar la distancia con otras naciones y lograr esos desarrollos a través de tareas concretas u objetivos científicos [Phalkey and Wang, 2006]. Sólo después de la protesta del estamento científico, se agregó un epígrafe sobre investigación básica, pero el plan seguía concentrando los esfuerzos en la investigación aplicada [Wang, 2015].

Si bien el plan incluyó 55 objetivos científicos con un total de 616 tareas de investigación, las cinco áreas de mayor prioridad estaban ligadas a la producción de misiles y sólo dos de las doce tenían relación con la agricultura. El plan incluía además dos áreas adicionales de forma confidencial por su carácter militar: el desarrollo de la bomba atómica y la producción de misiles balísticos. La capital importancia de la defensa, materializada en la incorporación de proyectos secretos en los planes científicos generales chinos se ha mantenido y puede encontrarse en el plan vigente hoy día, en el que tres de los dieciséis grandes proyectos de ingeniería son iniciativas militares secretas [State Council, 2006].

El plan de 1956 allanó el terreno para el desarrollo de la industria militar

en China en los quince años siguientes [Wang, 2015] y tras los logros conseguidos en tecnología de misiles, en 1965 se incorporó el desarrollo de satélites al plan, que había sido reformulado en 1963 para reforzar los objetivos generales de lograr autosuficiencia y alcanzar a otras potencias en materia científica [Liu, 2011]. De los proyectos llevados a cabo entre 1956 y 1972, tres de ellos recibieron especial atención: La bomba atómica (1964), la bomba de hidrógeno (1967) y el satélite «Oriente es Rojo» (1970), proyectos en los que participaron científicos chinos educados en Estados Unidos; de ahí la expresión «*liangdan yixing*» (dos bombas, un satélite) de los dirigentes chinos.

Dada dicha influencia y el papel predominante de la defensa en lo referente a inversión en investigación y desarrollo, la China maoísta puede considerarse un *Estado de seguridad nacional*<sup>3</sup> [Suttmeier, 1989], es decir, un sistema de organización estatal en el que el desarrollo de defensa, incluyendo la investigación científica y el desarrollo industrial, constituye la principal prioridad y esto se materializa en la asignación de recursos. En este contexto, la asistencia de los especialistas soviéticos fue muy significativa y la transferencia de tecnología provocó que la tecnología china se aproximara enormemente al nivel soviético de la época [Wang, 1993].

Sin embargo, el establecimiento de rígidos controles ideológicos y de un mecanismo centralizado de planificación, así como de un doble sistema de

---

<sup>3</sup>Tras la muerte de Mao, la defensa fue considerada una de las cuatro modernizaciones de Deng Xiaoping, aunque supuestamente la menos prioritaria de todas. No obstante, el desarrollo chino de las últimas décadas refleja una notable inversión en la modernización de su ejército y en la dotación de infraestructura y personal que le permita actuar más allá de sus fronteras. Según el Instituto Internacional de Investigación de la Paz de Estocolmo, China invirtió 215.000 millones de dólares en sus fuerzas armadas en 2015, un 1,9 % de su GDP [Perlo-Freeman et al., 2016].

supervisión, administrativo y político, liquidó definitivamente la autonomía profesional. A largo plazo, la CAS quedaría cada vez más subordinada a la Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología (SSTC) (heredera de la SSPC y establecida en 1958), la búsqueda del conocimiento se sometería a los planes de desarrollo centralizados y los científicos no volverían a reclamar su autonomía hasta el final de maoísmo. La SSTC funcionó como el órgano de mayor rango para el establecimiento de la política científica y para su implementación y fue ascendida a la categoría de ministerio durante la época de las reformas.

La creciente presión que se ejercía sobre los científicos al final de la década de 1950 llevó a unir las dos sociedades científicas de carácter estatal del momento en la Asociación para la Ciencia y la Tecnología (STA) , cuyas sedes provinciales se establecieron para estimular la actividad científica y tecnológica de base y para atraer a los campesinos y obreros hacia las tareas relacionadas con la ciencia; los portavoces del Gobierno desconfiaban de la profesionalización de la ciencia y promovían en su lugar el conocimiento de las masas. También se trató de conectar mejor la investigación con la producción, que sería una de las grandes asignaturas pendientes del desarrollo científico y tecnológico chino de las décadas venideras. Éste problema se abordó de manera definitiva durante la época de las reformas, tal y como se detallará más adelante.

El nuevo modelo de desarrollo promovido por Mao a partir de 1958 tuvo por objeto desarrollar simultáneamente la agricultura y la industria, y de este modo se lo conoció como «Caminar sobre las dos piernas». Así, el desarrollo de grandes proyectos de industrialización muy intensivos en capital se complementarían con unidades a pequeña escala, intensivas en trabajo, que permitirían hacer un uso productivo de todos los recursos, por

muy dispersos que se encontrarán. El plan, denominado Gran Salto Adelante (1958-1961), que se ejecutó sin el suficiente capital ni la necesaria difusión de tecnología, concluyó con el estancamiento económico y con una terrible hambruna por el descuido de las cosechas.

A pesar del inmenso impacto del Gran Salto Adelante, el desarrollo de la investigación y el desarrollo chinos siguió avanzando según el Plan Científico a Largo Plazo, y en particular en lo referente a la defensa, lo cual supone un ejemplo de la dualidad de la política científica china de la época: si bien a nivel nacional la política científica se vio muy influida por el clima político, que afectó muy negativamente al desarrollo técnico e institucional, en el área de la defensa, el control centralizado no se vio tan afectado, y los objetivos a largo plazo permanecieron prácticamente inalterados, lo cual muestra la solidez de la ciencia planificada en este sentido [Wang, 1993].

La nueva generación de líderes soviéticos, que llegó al poder en 1956 con Jrushchov en cabeza, planteó las contrapartidas de convertirse en suministrador de capital y bienes a China, en particular debido a las necesidades de desarrollo de la propia URSS y a la represión de los alzamientos en Polonia y Hungría, por lo que a partir de 1957 no se facilitarían más créditos y se exigiría el pago en efectivo de las exportaciones. Esta decisión, unida a la idea de Jrushchov de la coexistencia pacífica con Occidente y su denuncia del estalinismo, que se enfrentaba a la posición más beligerante de Mao, llevaría al cisma de las dos potencias comunistas del momento. En 1960, la URSS suspendió los programas de cooperación técnica y educativa y repatrió a sus expertos.

China, que durante una década había dependido de la Unión Soviética

como única fuente de financiación y conocimiento, se vio desprovista del conocimiento necesario para hacer funcionar las instalaciones y el equipamiento soviéticos, por lo que tuvo que dedicar años para entender y hacer funcionar los prototipos por ingeniería inversa. Cuando los chinos fueron capaces de producirlos en serie, la tecnología había quedado obsoleta. La experiencia marcó a China y reveló el riesgo que supone depender de un solo país como proveedor de créditos y conocimiento. La retirada de la ayuda soviética se unió al impacto del Gran Salto Adelante y dejó a la debilitada economía china al borde del colapso.

En 1961 se definió una nueva política de desarrollo en la que se invirtieron las prioridades: la agricultura comenzó a considerarse la base de la economía y se empezó a dar más importancia a la industria ligera y los bienes de consumo; en general se propugnaba un equilibrio entre agricultura e industria, y entre industria pesada y ligera, a diferencia de lo ocurrido en el periodo anterior. Aunque hasta 1963 todavía se formaron chinos en la URSS, en lo referente al conocimiento, China empezó a importar selectivamente desde Europa Occidental y Japón y, por vez primera, se enviaron estudiantes a países no comunistas para su formación [Suttmeier, 1980b][Suttmeier, 1980a].

Entre 1961 y 1963, Sun Yefang, director del Instituto de Investigación Económica de la Academia, planteó la necesidad de incrementar la importancia del mercado en la economía, a través de la competencia de diferentes empresas autónomas que tratarían de maximizar beneficios y a las que se permitiría el control de sus fondos para la gestión de su equipamiento.

En líneas generales la inversión en agricultura creció a expensas de la in-

dustria, pero autores como Chen [Chen, 1990], Riskin [Riskin, 1987] y Volti [Volti, 1982a] [Volti, 1982b] [Volti, 1982c] consideran que el cambio del énfasis desde la industria pesada, establecido en 1950, hacia la agricultura tal y como se designó en 1961 no pasó del papel, lo que denota la dificultad de culminar un cambio tan importante en una economía centralizada que se concentra en la maximización de la producción y que extrae los excedentes de la agricultura a través de un sistema de precios que perjudica a esta última, por lo que fomenta la concentración de tales recursos en el sector industrial.

En lo referente a la ciencia, se mejoró el sistema educativo y se aumentó la inversión en la investigación, por lo que el personal técnico y el presupuesto para la investigación crecieron a la par desde 1960. En el periodo 1961-1965 los estudiantes de doctorado fueron admitidos de nuevo en las universidades y en la CAS, y como se mencionó anteriormente, se definió un nuevo Plan Científico a Largo Plazo (1963-72), ya que el primero se consideró «terminado antes de plazo», a pesar de que en la práctica el Gran Salto Adelante había afectado negativamente al plan [Phalkey and Wang, 2006]. Ambas medidas fueron interrumpidas por la llamada «Revolución Cultural» en 1966, como se verá más adelante.

De este modo, la política científica china durante este periodo de reajuste está marcada por el fracaso del Gran Salto Adelante, que llevó la situación económica al borde del abismo, por la retirada de los expertos soviéticos y de su ayuda, que provocó el aislamiento de China y el fomento de la autosuficiencia técnica y militar, y por las fricciones en el seno del liderazgo del CCP en relación a permitir cierta autonomía de la comunidad científica.

En esta época se materializa una cierta tendencia a promover la profesionalidad por encima del fervor revolucionario, en un movimiento pendular que se aleja de la época anterior hacia un ambiente mucho más proclive para la creación científica en el que se promovió la revisión por pares<sup>4</sup>, las gratificaciones a la producción científica y el sistema de títulos universitarios, respaldando así los «Catorce Puntos en Relación al Trabajo de los Institutos de Investigación en Ciencias Naturales» presentados por los académicos en 1961 para pedir más autonomía y menos injerencia política en su labor [Yu, 1999].

Sin embargo, las fricciones en la cúpula del CCP siguieron presentes: mientras el primer ministro Zhou apoyaba a la comunidad científica en la Conferencia de Ciencia y Tecnología de 1962, Mao insistía poco después en que no había que olvidar la lucha de clases y que precisamente en los departamentos científicos de las universidades subsistía la ideología burguesa. Esas dos posiciones contradictorias entre el jefe del Estado y el de Gobierno causaron confusión entre la inteligencia y abortaron prematuramente la materialización del espíritu de los Catorce Puntos. La obsesión por la lucha de clases maoísta se reforzaría a partir de 1963 y tomaría la agenda pública en 1966, con la llegada de la Revolución Cultural.

A pesar de esta oscilación entre una cierta autonomía científica y una mayor injerencia política, la peculiar dualidad de la ciencia china abordada anteriormente se mantuvo durante el periodo. Esta dualidad se materializa en el hecho de que la Comisión Estatal para la Ciencia y la Tecnología ejerció mayor control sobre la investigación para la defensa que en otras

---

<sup>4</sup>La revisión por pares (del inglés *peer review*) es un método para evaluar trabajos científicos y solicitudes de financiación que implica que éstos sean evaluados por autores de rango similar o superior al del autor.

áreas científicas, que gozaron de mayor autonomía en ausencia de las labores de control intersectorial y de planificación atribuidas a la Comisión. Así, la ciencia china se militarizó durante este periodo: el 46 % del departamento de nuevas tecnologías de la CAS se dedicaba a la defensa [Wang, 1993]. Alejada de la Unión Soviética, se comienza a desarrollar un ambicioso programa de misiles y en 1964 China detona una bomba nuclear, el primer gran éxito del plan científico «Dos bombas, un satélite» y la prueba de la militarización de la ciencia china, que se profundizaría durante el periodo de la Revolución Cultural.

Los Catorce Puntos y la mayor autonomía para la investigación civil sufriría un revés con la involución en el sempiterno debate entre lo técnico y lo ideológico. En 1966, Mao Zedong publica un documento en cuyo undécimo artículo afirma:

«Debemos criticar ahora a las autoridades académicas burguesas y reaccionarias, incluyendo la filosofía, la historia, la economía política, la educación, la literatura, las ciencias naturales, etcétera».

*Mao Zedong, Diario del Pueblo, 9 de agosto de 1966.*

Tras los conflictos ideológicos precedentes en la última década, y la proposición, por parte de Liu y Zhou, de la profesionalización de la ciencia, Mao lanzó la Revolución Cultural, no sólo como una confrontación ideológica sino como parte de una lucha por el poder que se prolongaría durante casi una década. El movimiento social y político de la Revolución Cultural se prolongó desde 1966 a 1976 y trató de recuperar la línea maoísta por todos los medios, incluida la paralización de los mecanismos de la administración y la represión generalizada de los considerados

«revisionistas».

Durante este periodo, las funciones y el concepto mismo del Estado se mostraron difusos y lejanos. Las políticas científicas y de gestión de la ciencia, y las labores mismas de investigación no dependieron de una sola entidad sino que se vieron afectadas por las luchas entre las distintas facciones, el movimiento de las masas y particularmente los ataques a los expertos por parte de los revolucionarios.

La obsesión por la ortodoxia intelectual -entendida como tal la vuelta a la raíz del maoísmo- llevó a la dilución del conocimiento científico y de la práctica rigurosa de la ciencia, ya que ésta se diluía hacia arriba como mera ideología política, o hacia abajo, cuando se veía reducida a las limitadas mejoras que pueden obtenerse del trabajo manual y de un ineficiente sistema de ensayo y error con la vista puesta en el más corto plazo [Elzinga, 1987] [Wang, 1993]. La adquisición de conocimiento occidental que se había iniciado tras el cisma con la URSS se detuvo por completo y se promovió en su lugar la autarquía comercial e intelectual: hasta 1972 no se recuperó el nivel del comercio internacional de 1959 y, en líneas generales, la distancia entre China y Occidente aumentó en lo referente a ciencia y tecnología [Liu, 2011].

Los científicos fueron purgados, y la mayor parte de los responsables de la política científica fueron relegados; se estima que tres cuartas partes de los 316 altos cargos de las agencias de planificación perdieron su puesto [Wang, 1993]. La Comisión Estatal para la Ciencia y la Tecnología dejó de funcionar en 1967 tras el asalto de los Guardias Rojos<sup>5</sup> y no recuperaría

---

<sup>5</sup>Los guardias rojos fueron un movimiento paramilitar promovido por Mao en 1966 y formado inicialmente por estudiantes, que atacó sistemáticamente todo lo considerado

la normalidad hasta una década después.

El desmantelamiento de los órganos a cargo de la política científica y la purga de los funcionarios a cargo de la planificación facilitó la intervención del sector de la defensa y una aceleración en el proceso de militarización de la ciencia china. Hacia 1967, la mitad de los institutos dependientes de la Academia, así como su personal, equipamiento y presupuesto, habían sido transferidos a la Comisión de Ciencia y Tecnología para la Defensa Nacional (NDSTC) [Wang, 1993].

Esta medida, que inicialmente había protegido a los científicos del tumulto ideológico, finalmente no impidió que fueran obligados a practicar la lucha de clases y el trabajo manual. Universidades e institutos de investigación cerraron por derribo y casi todas las colaboraciones científicas con el exterior se detuvieron en 1966. A excepción de la investigación militar, la estructura científica china se paralizó por completo y no volvería a recuperar su normal funcionamiento hasta final de la década de 1970.

De hecho, el número de estudiantes universitarios se desplomó de 674.400 en 1967 a 47.800 en 1976, apenas una cuarta parte de los existentes en 1949 [Qiang, 1996], y la misión de las universidades quedó reducida a la formación de personas con «capacidad política» [Wang and Zhou, 2011], por lo que el sistema universitario centralizado de inspiración soviética quedó completamente desmantelado, quedando la docencia y la investigación detenidas por completo.

Con la moderación de la Revolución Cultural, los responsables de planificación científica fueron progresivamente rehabilitados y se empezó a

---

viejo, y particularmente el mundo de la ciencia y la cultura.

recuperar la investigación básica (en particular la física de partículas) que había sido denostada por los revolucionarios y la adquisición de conocimiento y tecnología extranjeros, que se vio facilitada tras la reanudación de relaciones con Estados Unidos [Wang, 1993]. En relación a la planificación y al rol de los científicos en el desarrollo de los planes, sólo en 1980 se restauraría la División Académica de la CAS, una vez que las reformas del sistema se empezaron a poner en práctica [Liu, 2011].

### **4.3 El inicio de las reformas**

Ya entre 1975 y 1978 la cuestión de la sucesión de Mao y las consiguientes luchas de poder influyeron en las políticas científicas. Tras el fin de la Revolución Cultural y con ella el deterioro del prestigio del líder chino, en 1975 el primer ministro Zhou Enlai anuncia las llamadas Cuatro Modernizaciones, es decir, la actualización tecnológica de la agricultura, la industria, la defensa y la ciencia y tecnología, con el horizonte puesto en el año 2000.

Las reformas se iniciaron en la agricultura, que había sufrido la experimentación maoísta ejemplificada en el desastre del Gran Salto Adelante. Hacia la segunda mitad de la década de 1970, el suministro de los productos agrícolas era muy deficiente. Deng optó por privatizar las explotaciones agrícolas, sustituyendo las explotaciones colectivas por pequeñas parcelas de tierra explotadas directamente por campesinos que podían quedarse con el excedente de su producción tras pagar una cuota al Estado. Esta medida «de abajo hacia arriba» incrementó la productividad y fomentó el desarrollo de la economía rural [Brandt and Rawski, 2008].

La producción agrícola se incrementó un 8,2 % (frente a un crecimiento previo anual del 2,7 %) a pesar de haberse reducido el área cultivada y los precios de los productos agrícolas descendieron [Huang, 2008].

De un modo análogo, en explotaciones industriales urbanas se introdujo un sistema dual de precios, es decir, se autorizó a las fábricas de propiedad estatal a disponer la producción que excediera la cuota asignada por el estado, y se introdujeron precios de mercado, además de los establecidos por el Estado. Se permitió además que comenzaran a operar negocios privados, que paulatinamente se hicieron con parte de la producción industrial, animados por la progresiva liberalización de los precios [Brandt and Rawski, 2008].

En este contexto, una medida crítica fue el inicio de la apertura a la inversión extranjera, para lo que Deng Xiaoping definió áreas que se consideraron Zona Económica Especial (SEZ). En estas áreas, que se ubicaron en regiones costeras, se aplicaron incentivos fiscales, se flexibilizó la normativa para dotar de mayor autonomía al comercio y se aplicaron los llamados «Cuatro principios económicos»: Su desarrollo se orienta a la atracción de capital extranjero; las empresas se constituyen como *joint ventures* de capital mixto, consorcios o empresas de capital extranjero; la producción está orientada a la exportación y no al mercado chino; y la actividad económica está dirigida por el mercado y no por el Estado. Leong [Leong, 2013] concluye que estas zonas especiales, particularmente las primeras que se establecieron durante la década de 1980, lideraron el crecimiento económico chino, que luego se extendió al resto del país.

En lo referente a la ciencia y la tecnología, si bien un programa similar ya había sido anunciado por el propio Mao en 1957, en esta ocasión la

modernización se inclinaría hacia la idea de Deng Xiaoping de dotar de autonomía y profesionalizar la investigación y la gestión. Mao Zedong y Zhou Enlai fallecieron en 1976. El sucesor del primero Hua Guofeng optó por promover la modernización de la ciencia como la más importante de las cuatro de Deng, iniciando una tendencia que acabaría consolidándose.

De hecho, desde 1978, la teoría de Deng Xiaoping, que identifica la ciencia y la tecnología como fuerzas productivas, se ha convertido en la base ideológica de la política científica china. Dos temas básicos pueden distinguirse como pilares de la idea de Deng:

1. Los intelectuales, incluyendo a los trabajadores de la ciencia y la tecnología, pertenecen a la clase obrera y su talento ha de respetarse;
2. Según el propio Deng: *«la reforma del sistema para la gestión de la ciencia y la tecnología, del mismo modo que la reforma de la estructura económica, está diseñado para liberar a las fuerzas productivas. La nueva estructura económica ha de promover el proceso tecnológico y el nuevo sistema de gestión de la ciencia y la tecnología ha de promover el desarrollo económico»* [Deng, 1985] [Liu, 2004] [OECD, 2008].

Un mayor reconocimiento de la labor de los científicos y la búsqueda del desarrollo económico a través del desarrollo científico y tecnológico será la piedra angular de las reformas que, iniciadas al final de la década de 1970, se han prolongado hasta nuestros días. Estas políticas aparecen por primera vez en un primer informe sobre ciencia [Deng, 1975] pero sólo se concretaron en tres documentos publicados por Deng en otoño de 1976, que sientan las bases para la reforma de la industria, la organización eco-

nómica y la ciencia y la tecnología en la era post-Mao [Goldman, 1978].

En 1977 se restableció la SSTC, y en 1978 se adopta una nueva constitución que modera notablemente la relevancia de la ideología en lo relativo a la ciencia y acepta la importación de conocimiento como una vía válida para el desarrollo científico. Así, en su duodécimo artículo afirma:

«El Estado dedicará el mayor esfuerzo al desarrollo de la ciencia, a la expansión de la investigación científica, a la promoción de la innovación y la revolución técnica y a la adopción de técnicas avanzadas allí donde sea posible, en todas las áreas de la economía nacional. Se ha de seguir la práctica de combinar los contingentes profesionales y las masas en la labor científica y tecnológica, y se ha de combinar el aprendizaje de otros países con los propios esfuerzos creativos».

*Constitución de la PRC de 1978.*

*Artículo 12.*

La ciencia se consideraba por vez primera como neutral, y se aceptaba que los científicos trabajaran para el proletariado<sup>6</sup> en China como lo hacen para la burguesía en una democracia liberal [Chang, 1996]. El objeto de Deng era reducir la presión política sobre los científicos que había llevado a su persecución en el pasado, y logró recuperar cierta autonomía con el restablecimiento de la División Académica de la CAS y recuperar parte de la colaboración internacional, particularmente con Estados Unidos [Suttmeier, 1980b][Suttmeier, 1980a]. El desarrollo científico y

---

<sup>6</sup>La referencia a las masas fue eliminada en la nueva constitución aprobada cuatro años después. El documento de 1982, en su artículo 20, asigna al Estado la responsabilidad del desarrollo de la ciencia, la diseminación del conocimiento y la retribución de los logros científicos.

tecnológico empezó a verse como el motor de la historia, en sustitución de la lucha de clases, y se puso la primera piedra para que la legitimidad de los líderes procediese del crecimiento económico y no de la ideología revolucionaria<sup>7</sup>.

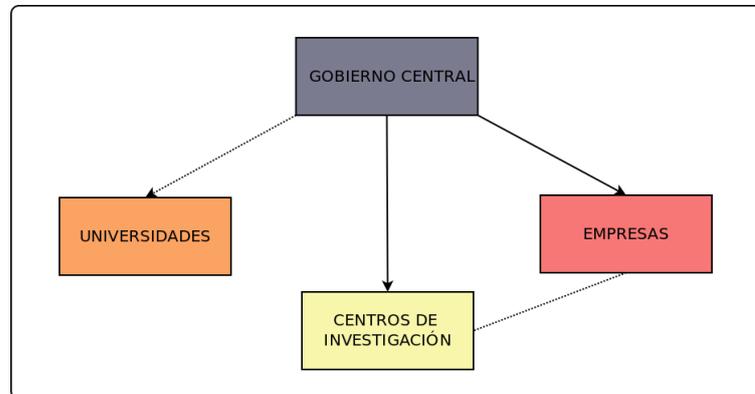
No obstante, no todas las dificultades que atravesaba China podían atribuirse a la Revolución Cultural, sino también al sistema centralizado de inspiración soviética establecido décadas atrás, que si bien había permitido movilizar los escasos recursos disponibles para resolver problemas concretos (y había producido buenos resultados en el área de la defensa), no había logrado conectar la investigación con la producción. La organización del sistema chino en grandes unidades que ostentaban un monopolio sobre un sector dado y que estaban estructuradas verticalmente estableció insuperables barreras a la cooperación y al flujo de la información, y provocó la duplicación del trabajo y el despilfarro de recursos [Wang, 1993] [Mayntz, 1998]. La modificación de este sistema y el establecimiento de canales de comunicación entre sus elementos es una de las claves de la reforma, como muestran más adelante las figuras 4.3, 4.4 y 5.1.

Además, no existía comunicación entre el sector militar y el civil (que trabajaban bajo la dirección de diferentes comisiones) y la mayor parte de las fábricas tenían muy pocos incentivos para adoptar nuevas tecnologías, ya que el sistema de precios, fijados de forma central, podía hacer la innovación contraproducente<sup>8</sup>. Se fueron introduciendo exenciones fiscales

---

<sup>7</sup>Diario del Pueblo, 22 y 26 de marzo de 1978.

<sup>8</sup>Algunas fábricas se encontraban con márgenes menores tras la adopción de nuevas tecnologías. La falta de control y de capacidad de reacción frente a los precios provocó que muchas unidades de producción prefirieran no introducir mejoras que hubieran resultado en un producto superior.



**Figura 4.3:** El sistema chino de I+D tras la muerte de Mao.

y préstamos de los bancos estatales para la financiación de la I+D con el objeto de compensar estas alteraciones, que el gobierno chino acabaría eliminando con una progresiva liberalización de los precios.

Estas reformas reflejan cómo el sistema soviético de organización de la I+D se empieza a cuestionar; y particularmente, estos nuevos mecanismos empezaron a reducir la concentración de las labores de investigación en los institutos académicos que dejaba a las universidades relegadas a la docencia y mantenía aislados los diferentes elementos del sistema de innovación.

En consecuencia, como ilustra la figura 4.3 en 1978 empiezan a establecerse vínculos entre la investigación (en este momento todavía a cargo de los institutos de investigación) y las empresas. Se empieza a plantear el papel de las universidades y se comienza a introducir la investigación como parte de su misión, y posteriormente a desarrollar una cierta coordinación entre éstas y los institutos de investigación, si bien el Gobierno aún retenía su rol como nodo central del sistema.

Además, con la llegada de las «Cuatro Modernizaciones», se identifica la necesidad de una gestión más eficaz, y así se empiezan a valorar las ciencias sociales, y en particular la gestión, la sociología, las finanzas, etcétera. El departamento de Psicología y Ciencias Sociales de la Academia se independizó del departamento de Propaganda del CCP y se creó la Academia China de Ciencias Sociales (CASS) en 1977, independiente de la CAS .

Esta decisión supone un cambio en la tendencia a concentrar todos los recursos en las ciencias aplicadas a la industria. No obstante, la estrategia oficial seguía muy ligada a la industria pesada. De hecho, la nueva política científica mostró desde su comienzo una importante tendencia utilitarista y un énfasis en la investigación aplicada, a pesar de la resistencia de buena parte de los científicos más importantes, que consideraron que la investigación básica apenas tenía importancia en los planes [Phalkey and Wang, 2006]. El impacto concreto de esta aproximación se analiza en términos cuantitativos en el capítulo 6, en el que se compara el sistema chino con el de otras potencias científicas, incluyendo el rol de la investigación básica y aplicada, y especialmente en el capítulo 7, en un análisis pormenorizado de la evolución de los resultados de investigación chinos clasificados por áreas de conocimiento, que refrenda el énfasis en determinados sectores ligados a la aplicación industrial.

En ese sentido, los objetivos anunciados por el primer ministro Hua eran muy ambiciosos: mecanizar el 85 % de las explotaciones agrícolas para aumentar en un 4-5 % anual la producción hasta 1985, incrementar la producción industrial en un 10 % anual para el mismo periodo y desarrollar seis polos industriales que se concentrarían en la industria del hierro y el acero, la extracción de carbón, petróleo y gas, la generación de energía

y la construcción de nuevas líneas férreas y cinco nuevos puertos. Éstas eran las áreas en las que se exigiría una mayor contribución al sistema científico y tecnológico que se empezaba a reconstruir.

La restablecida SSTC convocó a 20.000 expertos para elaborar un nuevo plan científico y 6.000 delegados participaron en un congreso nacional en marzo de 1978. Se produjo un plan que identificó 27 áreas de investigación y 108 proyectos de investigación clave. Además, se definieron ocho grandes proyectos en la agricultura, la energía, los nuevos materiales, los ordenadores, los láseres, el espacio, la ciencia de altas energías y la ingeniería genética.

En el Plan Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (1978-1985) se recogen estas áreas prioritarias de investigación y se manifiesta el deseo de alcanzar el nivel tecnológico de las naciones avanzadas. Tal y como sucedió en la década de 1950, muchos campos prioritarios (láseres, investigación espacial, radio, óptica, física nuclear) fueron seleccionados por su aplicación a la defensa. Otros tenían relación con los ambiciosos objetivos de Hua (producción agrícola, extracción y transformación de materiales y producción energética a partir del carbón, el petróleo y el gas) y dos de ellos, la física de partículas y la genética, reflejan el deseo de la comunidad científica china de alinearse con sus homólogos occidentales. Así se inicia un programa conjunto con Estados Unidos para construir un sincrotrón de protones de 50 GeV<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup>Mao ya manifestó en su día un interés especial por la física de partículas, dado su potencial para explicar la estructura de la materia y las implicaciones ideológicas y filosóficas que el líder chino atribuía a tales descubrimientos. Así, en 1972 ya se estableció un instituto de altas energías en la CAS, aunque permaneció en dique seco hasta la muerte de Mao.

En general, puede considerarse que se trataba de un plan para tratar de equilibrar las diferentes tendencias en el seno de la comunidad científica. Sin embargo, el plan resultó demasiado ambicioso, dadas las limitaciones de personal, organización y eficiencia en su puesta en marcha. Además, el desarrollo de las tecnologías designadas hasta el punto de que fuera posible su aplicación industrial requería una gran labor de investigación fundamental previa que estaba fuera del alcance de China, tanto por limitaciones tecnológicas como financieras, por el momento [Wang, 1993].

En 1978 el primer presidente de la CASS Hu Qiaomu justificó en una charla al Consejo de Estado la necesidad de estudiar las técnicas occidentales de gestión económica de la empresa, aunque a nivel macroeconómico se mantuvieran los principios de planificación centralizada. Asimismo, señaló que las empresas deberían tener más autonomía, algo que fue concedido progresivamente.

En general, el nuevo programa que se iniciaba para modernizar China ya no se entendería como un segundo salto adelante sino como una sucesión de pasos progresivos partiendo de la situación y de las necesidades reales del país. La apertura económica promovió el comercio y el desarrollo de la industria ligera, y con ellos los primeros acuerdos de los institutos científicos para desarrollar proyectos tecnológicos para las empresas.

En 1981 se celebró la cuarta conferencia de la CAS (y la primera desde 1960), en la que los científicos insistieron en la importancia de la investigación básica (el Comité Central del Partido seguía haciendo énfasis en la investigación aplicada). Así, se creó la Fundación Científica de la Academia a modo de consejo científico que financiaría los proyectos de investigación básica a través de un proceso de competencia competi-

va y de revisión por pares, por primera vez en China. También en 1981 se introduce el sistema de posgrado (máster y doctorado) como primer paso de la carrera investigadora. El sistema posdoctoral llegaría en 1985 [Liu, 2011].

La comunidad científica obtuvo así mayor control sobre la investigación y los fondos destinados a ella. Dada su importancia capital, con el objeto de pilotar la reforma en 1983 se creó un «Grupo Director» para la ciencia y la tecnología, que dependería del Consejo de Estado <sup>10</sup> directamente, y cuya máxima responsabilidad recayó inicialmente sobre el primer ministro Zhao Ziyang (1981-1987). También en 1983 se empieza a introducir un sistema inicial de financiación de la investigación [Liu, 2011].

En este sentido, el gobierno de Zhao insistía en la importancia de la investigación aplicada y otorgó la mayor prioridad a aquellos proyectos de investigación y desarrollo susceptibles de una aplicación inmediata a la producción industrial. Resulta significativo señalar que, a pesar de que la PRC siempre entendió que la ciencia y la tecnología debían ir encaminadas a obtener resultados aplicables más que a la ampliación del conocimiento, los resultados de los académicos no siempre se han llevado a la producción en serie debido a las limitaciones en la gestión de la ciencia.

La reforma estructural iniciada en 1978 siguió adelante y desde la segunda mitad de la década de 1980 se aceleró el proceso de desregulación y privatización, si bien se mantuvieron muchos monopolios del Estado, tales como la banca, la energía o las comunicaciones. Paralelamente a la privatización, en 1984 Deng inició un proceso de descen-

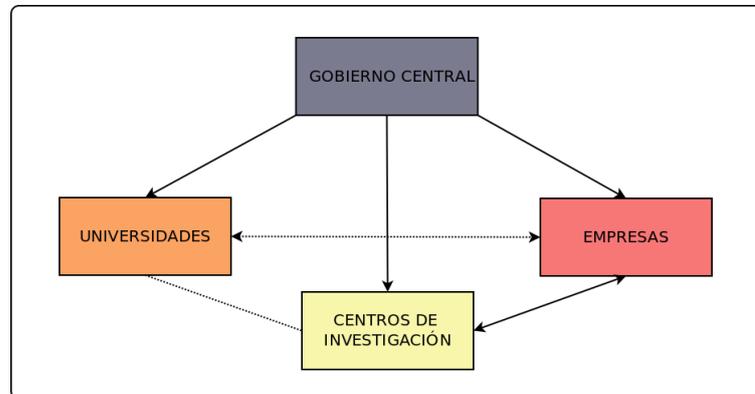
---

<sup>10</sup>El Consejo de Estado es el máximo órgano de Gobierno de la República Popular China, presidido entonces por el primer ministro Zhao Ziyang.

tralización por el que parte de la capacidad de decisión se transfirió a las provincias, que adquirieron así la potestad tomar medidas para acelerar el crecimiento económico y liquidar parte del patrimonio del Estado [Brandt and Rawski, 2008]. De esta forma, las empresas de ámbito local, inicialmente colectivas y progresivamente privadas, empezaron a ganar cuota de mercado a expensas de las empresas estatales. El número de empleados creció de 28 millones en 1978 a 135 en 1996, momento en el que estas empresas empiezan a desmantelarse [Naughton, 2007].

También desde comienzos de la década de 1980, las compañías extranjeras empezaron a transferir tecnología a sus homólogas chinas vía acuerdos de licencia y venta de equipamiento. A lo largo de la década se empezaron a establecer joint ventures entre empresas chinas y extranjeras, amparadas por la nueva normativa de aplicación en las zonas económicas especiales, lo que aceleró notablemente el proceso de transferencia de conocimiento [CENTRA Technology Inc., 2011]; las regulaciones de la inversión extranjera introducidas a comienzos de la década de 1990 facilitó al capital extranjero el acceso al mercado chino a cambio de transferencia de tecnología [Suttmeier, 2010].

La reforma en lo referente a investigación e innovación fue dirigida por el Comité Central del CCP desde 1985, cuando promulgó la «Decisión sobre la Reforma del Sistema de Ciencia y Tecnología» o Decisión de 1985 [Saich, 1989], que asume las tesis de Deng y se aleja del modelo soviético que había marcado la ciencia China desde la década de 1950. La Decisión de 1985, que es considerada el punto de inflexión en lo que respecta a la reforma del sistema científico [Xue, 1997] ya que proporciona un marco para el resto de las reformas, consagra la orientación de la ciencia y la tecnología hacia la consecución del desarrollo económico,



**Figura 4.4:** El sistema chino de I+D al inicio de las reformas.

establece la introducción de mecanismos de mercado que habrían de sustituir el sistema centralizado de inspiración soviética e inicia el proceso de internacionalización del sistema chino, cuyos elementos se analizan en el capítulo 5.

Hasta entonces había imperado una división del trabajo en la que los institutos de investigación estaban a cargo de la investigación básica y aplicada, la CAS se encargaba fundamentalmente de desarrollar investigación básica -e investigación aplicada en menor medida- y las universidades se concentraban en la docencia. Las unidades de I+D en las empresas públicas llevaban a cabo actividades de desarrollo, creación de prototipos, etcétera.

Como muestra la figura 4.4, hacia 1985 la reforma del sistema de I+D ya empezaba a dar sus frutos, con la incorporación de las universidades a un sistema de elementos más complejos (que incluye centros de investigación y empresas) y mejor conectados. La progresiva reducción de la financiación directa, que se intensificó a partir de 1986, y la introducción

de herramientas competitivas de financiación provocó gradualmente que estos elementos no tuvieran garantizados todos los fondos, por lo que se vieron obligados a competir, y también a formar consorcios y colaboraciones para obtener financiación, tal y como es habitual en Occidente. En 1985 se establece además un nuevo plan científico y tecnológico (1985-2000).

No obstante, la evolución del sistema de I+D sólo puede ser un proceso paulatino. Hacia el final de la década de 1980 todavía pervivía la herencia soviética y existía aún una dispar distribución de actividades y financiación, que queda patente en la tabla 4.1, correspondiente a la situación del sistema sólo dos años después de la Decisión de 1985 [Xue, 1997]. Cabe destacar que los gastos de I+D de los institutos de investigación en relación a total nacional eran desproporcionados (60,7 %), dada la cantidad de personal dedicado a tareas de I+D en ellos (47,2 %) y que una situación opuesta se daba en las universidades, en las que un 21,8 % del personal ocupado en la investigación y el desarrollo tenía a su disposición sólo el 4 % del gasto total del estado en dichas tareas. Como se verá más adelante, la situación cambiará radicalmente con la profundización en las reformas y la promoción de las universidades como punta de lanza de la I+D en China.

Tras reconocer las limitaciones de un sistema de planificación centralizada, China introdujo medidas de mercado para otorgar más autonomía a los centros de investigación y a las empresas, y agilizar así la transferencia de los resultados la investigación a la producción. Se estableció un un sistema de contratos, asociaciones entre investigadores e industriales, así como empresas de consultoría. Este sistema de contratos estaba dirigido a modificar el sistema de financiación, que hasta entonces dependía de

|                   | <b>Instituciones</b> | <b>Personal</b>     | <b>Inversión (EUR)</b>     |
|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|
| Institutos        | 5.222<br>(46.7 %)    | 385.857<br>(47.2 %) | 1.511 millones<br>(60.7 %) |
| Universidades     | 934<br>(8.3 %)       | 178.292<br>(21.8 %) | 99 millones<br>(4.0 %)     |
| Empresas públicas | 5.021<br>(45.1 %)    | 252.781<br>(31.0 %) | 878 millones<br>(35.3 %)   |
| Total             | 11.117<br>(100 %)    | 816.930<br>(100 %)  | 2.488 millones<br>(100 %)  |

**Tabla 4.1:** Estructura y financiación del sistema chino de I+D en 1987.

los fondos suministrados directamente por el estado y, en mucha menor medida, de los préstamos bancarios [Xue, 1997].

De esta forma se amplió el ámbito de la investigación y el desarrollo desde su entorno original de institutos aislados a un ecosistema mucho más amplio en el que el intercambio de conocimientos y servicios a través de contratos mercantiles y laborales que permitieran la diseminación del conocimiento y su materialización en bienes y servicios susceptibles de ser comercializados [Xue, 1997].

Destaca el sexto Plan Quinquenal (1981-85), en el que la ciencia y la tecnología tienen una importancia capital y del que se llega a afirmar que:

«En el futuro la ciencia y la tecnología serían progresivamente gobernadas por medidas económicas en lugar de administrativas».

*Diario del Pueblo, 14 de diciembre de 1982.*

El objetivo del crecimiento económico se vislumbra en las áreas en las que se concentran los 38 proyectos científicos clave financiados con mil millones de yuanes (141 millones de euros) entre 1981 y 1985: agricultura, textiles, energía, electrónica, materias primas, industria química, industria farmacéutica y de transporte y comunicaciones.

Además, con el objeto de integrar la producción científica en el crecimiento económico, el Grupo Director del primer ministro Zhao asume las funciones coordinar la política científica a largo plazo, resolver las disputas entre ministerios e integrar la investigación civil y la militar. La financiación de los proyectos, sin embargo, siguió a cargo de las comisiones de ciencia y tecnología [Wang, 1993].

De este modo, el incipiente proceso de selección de proyectos científicos de la CAS, que aspiraba a considerar los méritos científicos, se complementaba con una iniciativa de investigación dirigida, que gozaba de gran tradición en China en el ámbito de la defensa (programa de armamento nuclear, programa espacial) y que ahora se aplicaba al sector civil a través de la red de coordinación del Grupo Director.

Los administradores chinos reprodujeron el modelo occidental de contratación y subcontrataron los 38 proyectos seleccionados a diversas unidades de investigación y desarrollo; la Academia de Ciencias se hizo cargo de 16 de ellos, y los demás se repartieron entre diversos institutos de investigación y universidades. En el séptimo Plan Quinquenal (1986-1990)

se acelera este proceso: el número de proyectos clave se duplicó, la financiación se multiplicó por un factor cinco y la investigación contó por vez primera con la participación de empresas tecnológicas de reciente creación que vieron en estos contratos una fuente de financiación para su I+D y de prestigio para sus productos y servicios [Wang, 1993].

Las reformas de Deng y las iniciativas del gobierno de Zhao para integrarlas en el ámbito científico se encontraron con una importante resistencia, hasta el punto de que la oposición conservadora liderada por Chen Yun, presidente de la Comisión Asesora Central del CCP, retrasó su implementación [Naughton, 2007]. Hacia el final de la década de 1980, La corrupción, el nepotismo y la inflación introducida por las reformas (Vogel [Vogel, 2011] estima que el IPC se incrementó en un 30 % en Beijing en el bienio 1987-88) llevaron a un creciente descontento popular y a protestas públicas que acabaron en la masacre de Tiananmen en 1989. La represión estuvo acompañada de un alto en las reformas económicas debido al debilitamiento del liderato de Deng hasta que éste reforzó su posición con un *tour* por el sur de China en 1992 que sirvió para reforzar la posición de los reformistas. Si bien la economía creció durante este periodo, el sector público acumuló pérdidas [Brandt and Rawski, 2008] y la cuestión de la inflación volvió a ser un problema [Naughton, 2007].

#### **4.4 La consolidación de las reformas**

En 1989 se había celebrado una conferencia nacional sobre investigación básica e investigación aplicada que concluyó que la investigación básica debía mantenerse constante, pues era un pilar fundamental para la estrate-

gia de desarrollo [Liu, 2011]. Sin embargo, la inversión en investigación fundamental ha sido muy reducida, a pesar de la conferencia de 1989 y particularmente el posterior desarrollo del «Programa Nacional de Proyectos Clave de Investigación Básica» -también conocido como Programa 973- en 1997. El marcado énfasis en la investigación aplicada en China, incluso tras la implementación de las reformas, es todavía uno de sus rasgos generales, como se expondrá en detalle en el capítulo 7.

Para tratar de resolver la histórica desconexión entre la investigación científica y la producción industrial, los líderes chinos empezaron a aceptar la idea de los economistas liberales de tratar el conocimiento científico y tecnológico como un bien de consumo que puede comercializarse en el mercado. La decisión de considerar el conocimiento o la tecnología como un producto comercial suponía una ruptura con el pasado, que catalogaba todo producto del trabajo intelectual como un bien público que no se podía privatizar. La clave para esta reforma fue el nuevo sistema de financiación: la Academia, los ministerios industriales y los gobiernos locales sufrieron una reducción en sus presupuestos de investigación y se vieron forzados a compensar tales recortes prestando servicios a la industria, de forma que se establecía un mercado para el conocimiento.

Asimismo el sistema de financiación basado en cuotas fijas para las distintas organizaciones fue dando lugar a un sistema de subcontratación en el que los diferentes agentes (institutos, universidades, empresas) trataban directamente entre sí, mientras el Gobierno sólo proveía el marco legal y de referencia. Este proceso, que ya se había iniciado en la década de 1980 (como muestra la figura 4.4), quedó consolidado hacia mediados de la década de 1990 con la introducción de las empresas en el sistema, tal y como se detalla a continuación e ilustra la figura 5.1.

Este sistema de subcontratación se incorporaba a los otros dos sistemas de financiación de la investigación ya existentes: los contratos del Gobierno (tales como los proyectos clave que ya se habían introducido en el sexto Plan Quinquenal, 1981-1985) y la financiación de las comisiones y fundaciones estatales para la investigación. Por tanto, la creación de un mercado tecnológico interno como vía de transferir los resultados de la investigación a la industria rompió con el modelo de inspiración soviética que separaba nítidamente investigación básica y aplicada y concentraba la investigación en los institutos, relegando las universidades fundamentalmente a la docencia.

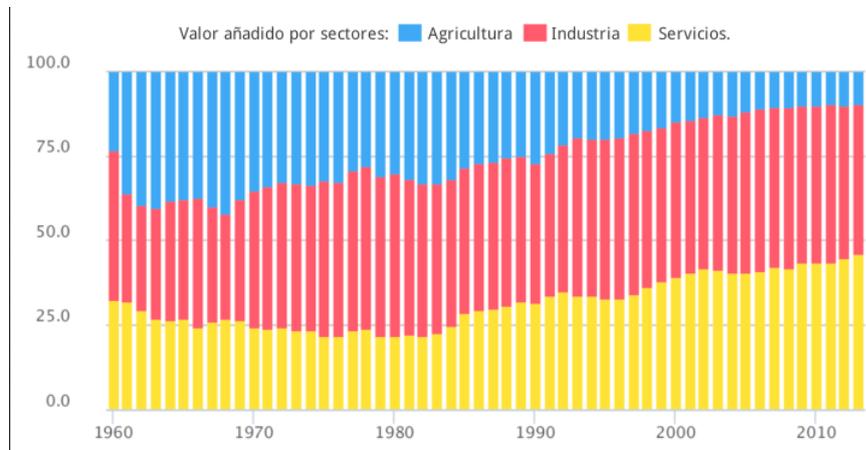
En las tres décadas anteriores a 1980, las instituciones de educación superior aceptaron estudiantes de doctorado de forma regular únicamente en 1956-57 y al inicio de la década de 1960, y la Revolución Cultural llevó la investigación universitaria al colapso. Las reformas cambiaron radicalmente este panorama y permitieron que a comienzos de la década de 1980 las universidades incorporaran investigadores predoctorales (1981), investigadores posdoctorales (1985) y se incorporaran gradualmente al emergente mercado de conocimiento, que además suponía una importante contribución a la financiación de las instituciones como complemento a la financiación directa del Estado, que ya no se entregaba en una cuota fija asegurada. Adicionalmente, se desarrollaron programas específicos para la financiación de la educación superior, y para que un grupo selecto de universidades, ahora entendidas como piedra angular del sistema de innovación, alcanzaran el nivel de sus homólogas occidentales.

En 1982 se introdujo una ley de marcas comerciales (revisada en 1993), en 1984 se introdujo una ley de patentes (revisada en 1992), en 1987 una ley de contratos tecnológicos y en 1990 la ley de *copyright*. En 1988 se

reconoce la relevancia de la economía privada como un «complemento» de la estatal; en 1999 se revisó esta idea y se le otorgó el status de «componente importante» de la llamada «economía socialista de mercado». A pesar de la muerte de Deng en 1997, en 1997 y 1998 se acometió una privatización a gran escala de las empresas estatales, que seguiría en los años siguientes. Entre 2001 y 2004 el número de empresas en manos del Estado descendió en un 48 % [Brandt and Rawski, 2008].

Paralelamente, el número de empresas privadas creció rápidamente durante la década de 1990 y comienzo de la de 2000, en particular las industriales, que pasaron de 377.300 en 1980 a casi 8 millones en 1990. Así, China cuadruplicó su producción de acero entre 1980 y 2000, y en 2006 ésta llegó a suponer un tercio del total mundial [Brandt and Rawski, 2008]. Determinadas industrias ligeras, como es el caso del textil, experimentaron una expansión mayor. Las exportaciones textiles de China, que suponían tan sólo el 4,6 % del total mundial en 1980, alcanzaron el 24,1 % en 2005, inundando los mercados mundiales.

China se incorporó a la Organización Mundial del Comercio (WTO) en 2001, tras quince años de negociaciones, y se redujeron los aranceles, las barreras comerciales y las regulaciones. Durante el periodo de reforma, el arancel medio descendió del 56 % al 15 % y en 2001 menos del 40 % de las importaciones chinas estaban sometidas a aranceles y sólo el 9 % de ellas requerían licencias y cuotas de importación [Bransetter, 2008]; el comercio pasó del 10 % del GDP al 64 % [Brandt and Rawski, 2008] en el mismo periodo. Como ilustra la figura 4.5, el sector terciario ha ido incrementando su peso en la economía china a expensas de la agricultura, mientras la industria ha mantenido su peso.



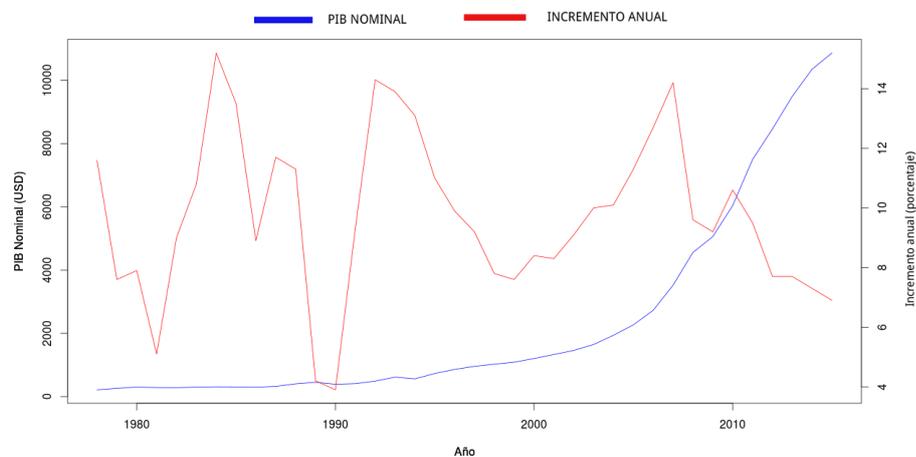
**Figura 4.5:** Valor añadido de la economía china por sectores productivos. Fuente: Banco Mundial. Imagen: (CC) Bluenomics.

El sistema bancario chino se considera todavía relativamente débil y los mercados financieros ineficientes, lo que ha provocado el desarrollo de un sistema alternativo informal difícil de estimar [Allen, 2008]. El 75 % de los préstamos de los bancos estatales (que suponen el 98 % del sistema bancario) van dirigidos a empresas públicas [Chiu and Lewis, 2006] y se estima que existen préstamos por valor de 14 billones de RMB (unos 2 billones de euros) a las administraciones locales, de los que muchos son de dudoso cobro [Tatlow, 2011]. China ha recibido préstamos del Banco Mundial, de Naciones Unidas y de países como Japón. Los ingresos del Estado procedían de los beneficios de las empresas públicas, por lo que la privatización provocó una importante reducción de éstos. En 1994 se reformó el sistema impositivo, estableciendo un IVA del 17 % como principal fuente de ingresos, así como un sistema de impuestos especiales [Wong, 2008].

Mientras progresaban las reformas económicas y las negociaciones comerciales con Occidente, la implementación de las ideas de Deng en materia científica se vio reforzada con las Decisiones de 1995 y 1999. La «Decisión de acelerar el progreso científico y tecnológico» de 1995 hace referencia a la voluntad de China de hacer aportaciones significativas a la ciencia mundial, y la «Decisión de reforzar la innovación tecnológica, desarrollar alta tecnología y lograr su industrialización» de 1999 estaba dirigida a la promoción del desarrollo tecnológico, y en particular a la industrialización de las grandes empresas públicas.

La administración de Hu revirtió algunas de las reformas de Deng a partir de 2005 [Naughton, 2007] [Scissors, 2009]. Sin embargo, el crecimiento del GDP se ha mantenido relativamente constante entre 1978 y 2013 -en 2015 la desaceleración de la economía lo ha dejado en el 6,9 % según cifras oficiales- como muestra la figura 4.6 y el crecimiento acumulado desde el inicio de las reformas supone un incremento de un factor diez. Algunos autores [Perkins, 2008] estiman que China podría mantener su crecimiento económico situado entre el 6 % y el 8 % anual hasta 2025 si se reduce la intervención del Estado en la economía.

Se estima que la productividad total de los factores, debida a los *inputs* de trabajo y capital, es el elemento más importante de este crecimiento, aportando el 40,1 % del incremento del GDP, cuya evolución ilustra la figura 4.6. Este incremento contrasta con el descenso del 13,2 % registrado durante el periodo de 1957 a 1978. Sin embargo, el crecimiento de la renta per cápita no ha seguido el ritmo del GDP y por tanto la desigualdad ha aumentado progresivamente en China, tanto entre las provincias más desarrolladas como las de menores ingresos como entre las



**Figura 4.6:** Evolución del GDP nominal de China y tasa de crecimiento anual.

distintas clases sociales<sup>11</sup>. De hecho, el crecimiento de los ingresos per cápita se sitúa una media del 6,6 % durante el periodo de las reformas [Heston and Sicular, 2008].

<sup>11</sup>El crecimiento de la renta per cápita se ha mantenido aproximadamente entre dos y cuatro puntos porcentuales por debajo del crecimiento del GDP durante los últimos años. La economía china presenta un coeficiente de Gini de 0,48, situándose entre las sociedades más desiguales del planeta (en el sistema Gini, un coeficiente de 0 corresponde a la mayor equidad; y de 1, a lo contrario). España tiene un coeficiente de 0,35; Noruega, 0,26; Estados Unidos, 0,45.

## **Capítulo 5**

# **CARACTERÍSTICAS CLAVE DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA R.P. CHINA**

### **5.1 Prioridades científicas y grandes proyectos**

Como consecuencia de la consolidación de la reforma, a partir de 1995 la inversión en investigación y desarrollo creció muy rápidamente. La proporción del GDP destinada a I+D pasó del 0,57 % en 1995 al 0,9 % tan sólo cinco años después. Además de la financiación disponible a través de las agencias estatales, a partir de 1998 el Consejo de Estado inició la transformación de 242 institutos de investigación en empresas tecnológi-

cas y se comenzó a fomentar el establecimiento de centros de I+D por parte de empresas nacionales y extranjeras [OECD, 2008]. La disponibilidad de fondos para la I+D, así como la naturaleza del origen de esta financiación (pública, privada u otra) es uno de los rasgos que permiten analizar el ecosistema de investigación y servirá para comparar el sistema chino con el de otras naciones en el capítulo 6.

A pesar de esta mejora en los fondos disponibles, el sistema único de financiación centralizada había desaparecido y tanto la CAS como el sector de la defensa manifestaron sus reservas a las reformas liberalizadoras, y lograron el compromiso de Deng Xiaoping para que el Estado apoyara la investigación directamente, con nuevas herramientas de financiación de la investigación. [Wang, 1993]. Así, la SSTC, que ascendió al rango de Ministerio cuando se crea el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST) en 1998, definió siete áreas de investigación prioritaria: biotecnología, espacio, tecnologías de la información, láser, automatización, energía y nuevos materiales.

Así, además del incremento en los fondos disponibles, una característica fundamental de la política científica china a partir de 1995 es el establecimiento de líneas prioritarias de investigación en las que se concentran los recursos [Cao, 2002]. El propio Deng apoyó la idea de financiar grandes proyectos científicos en la frontera del conocimiento que permitieran salvar la distancia entre China y las naciones avanzadas y promovieran el prestigio de la nación. Las consecuencias de esta orientación, en términos de la producción científica china cuantificable, se estudiarán en los próximos capítulos.

De este modo, el proceso de reforma queda nítidamente vinculado al pro-

ceso de desarrollo: este último había de refinar el enfoque de la reforma, mientras que las reformas tenían la función de proveer nuevas oportunidades para profundizar en el desarrollo. Este esfuerzo conjunto se estructuró en un sistema de tres capas:

El primer nivel recibió en torno a dos terceras partes de los recursos científicos y tecnológicos puestos al servicio del desarrollo económico [Xue, 1997] y contó con una serie de programas diseñados para dar uso a estos recursos. Los tres más significativos son:

1. El «Programa de Tecnologías Clave de Investigación y Desarrollo» (1982) tiene como objetivo abordar problemas ligados al desarrollo social y económico del país. Ha sido el mayor esfuerzo científico de China y ha incluido científicos en cerca de mil centros diferentes. Cada cinco años se produce un «Plan de Proyectos Clave de Ciencia y Tecnología». El programa fue renombrado como «Programa de Apoyo» en 2006 y recibe actualmente en torno al 20 % de los fondos disponibles para ciencia [MacGregor, 2010].

Proyectos como el superordenador basado en Linux Tianhe-I (originalmente Tianhe-1A, se convirtió en el ordenador más rápido del mundo en octubre de 2010, si bien fue superado), el procesador comercial Loongson (fruto de una colaboración público-privada entre el Instituto de Tecnologías de la Computación, la CAS y el grupo Jiangsu Zhongyi) y la nave Shenzhou<sup>1</sup>, que sigue el modelo de la Soyuz rusa, son resultado de esta iniciativa.

---

<sup>1</sup>Los nombres de los artefactos espaciales chinos han cambiado con los nuevos tiempos. Así el satélite *Dong Fang Hong* («Oriente es Rojo») de 1970 ha dado paso a la nave *Shenzhou* («Nave Divina») en 1999, que además hace referencia a un nombre arcaico y homónimo para la propia China, *Shenzhou* («Tierra Divina»)

2. Programa «Chispa» (1986). Promueve el desarrollo económico del medio rural por la vía de aplicar el conocimiento científico y técnico. En sus cinco primeros años se llevaron a cabo 35.000 proyectos con una inversión total de unos 3.200 millones de euros [Xue, 1997].
3. «Programa para la Extensión de los Logros Nacionales de Ciencia y Tecnología» (1990). Promueve la difusión de resultados de investigación avanzados y maduros y su transferencia a la agricultura y la industria, tanto a nivel nacional como local. En sus cinco primeros años de existencia se ejecutaron más de 5.000 proyectos a nivel nacional y más de 15.000 a nivel local [Xue, 1997].

El segundo nivel, con menor volumen de financiación que el primero, se centró en el desarrollo de alta tecnología, tanto procedente del mercado global como generada en China. Dos programas se iniciaron con este objetivo:

1. El Programa 863<sup>2</sup> o «Plan Estatal de Desarrollo de Alta Tecnología» (1986), tiene por objeto:
  - Monitorizar los desarrollos tecnológicos internacionales, fomentar la innovación y lograr avances en las áreas en las que China cuenta con activos científicos.
  - Formar una nueva generación de científicos e ingenieros al nivel de los estándares internacionales.

---

<sup>2</sup>Es habitual que esta clase de iniciativas se nombren en China partiendo de la fecha en que son aprobadas o puestas en marcha; en este caso en marzo de 1986, 86/3 según el sistema chino de datación.

- Comercializar los resultados de I+D.

El Programa 863 financia proyectos de investigación según las líneas maestras marcadas desde el MOST , que abarcan tanto investigación básica como aplicada, y el presupuesto superó la barrera de los mil millones de euros en 2009.

El programa se centró originalmente en siete áreas prioritarias: tecnología de láseres, espacio, biotecnología, tecnologías de la información, tecnologías de automatización y manufactura, energía y materiales avanzados, si bien a partir de mediados de la década de 1990 estas áreas se ampliaron en ámbito y el programa se reorientó hacia la innovación en productos y procesos tecnológicos.

2. El Programa «Antorcha» (1988) se centró en la comercialización de tecnología y para ello se ha encargado de la construcción de más de cincuenta zonas de alta tecnología en China, con el objeto de desarrollar proyectos de innovación en áreas tales como nuevos materiales, biotecnología, electrónica y energía.

El tercer nivel consiste en un grupo pequeño de científicos e ingenieros dedicados a tareas de investigación básica, para las que se desarrolló un programa específico:

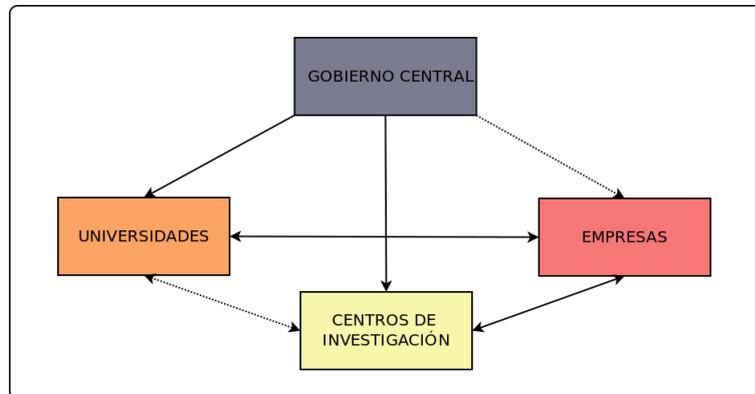
El «Programa Nacional de Proyectos Clave de Investigación Básica» de 1997, también conocido como Programa 973 y dirigido a la investigación fundamental en áreas como la agricultura, la energía, las tecnologías de la información, la salud y los nuevos materiales. Es el principal programa estatal dirigido a la investigación básica, aunque apenas recibe cerca del diez por ciento de la financiación del gobierno central para la ciencia

[MacGregor, 2010].

La creación de estos programas de financiación específica se ha de entender en un contexto en el que la financiación directa de las instituciones de I+D se fue reduciendo progresivamente -desde 1986, los institutos de investigación vieron su presupuesto reducido en un 5 % anual [Xue, 1997]- por lo que han de recurrir a los contratos tecnológicos o a estos nuevos programas para obtener fondos complementarios. Aunque estos programas son también de financiación pública, las instituciones de I+D, sean institutos o universidades, no tienen garantizados todos los fondos, por lo que han de competir, y también formar colaboraciones, para obtener financiación, como es habitual en Occidente. Resulta muy significativo que la mayor parte de estos programas están muy orientados a la aplicación de resultados, lo que sugiere que la investigación se orientará hacia áreas que puedan responder a este objetivo, para lograr financiación.

En 1997 Lu Yonxiang, experto en hidrología y ex rector de la Universidad de Zhejiang, fue nombrado nuevo presidente de la CAS . Paladín de la innovación china, optó por la jubilación de los científicos que permanecían inactivos y lanzó un programa de innovación, el Programa de Innovación del Conocimiento (KIP), que, a través de la financiación de proyectos de investigación en centros adscritos a la CAS y así conceder recursos adicionales, consolidó los 120 institutos de investigación de la Academia [Wang and Tang, 2009] y fijó como objetivo que 30 de ellos lograsen reconocimiento a escala mundial y de ellos cinco fueran líderes globales [Cao et al., 2006].

Desde el establecimiento del KIP, la cantidad y la calidad de los resultados de investigación de la CAS han mejorado notablemente, y su pre-



**Figura 5.1:** El sistema chino de I+D tras la consolidación de las reformas.

supuesto se ha incrementado notablemente. Tras diez años de programa, éste ascendía a 15.400 millones de yuanes (unos 2.200 millones de euros) de los cuales un 35 % se destinaba a la investigación básica, un 56 % a la aplicada y un 9 % al desarrollo [CENTRA Technology Inc., 2011]. Esta financiación permitió a la CAS producir cerca del 20 % de los artículos científicos revisados por pares en el periodo y recibir casi el 25 % de las citas en revistas científicas [Ye, 2010].

Como muestra la figura 5.1, hacia 1995 el sistema público de apoyo a la I+D ya se había diversificado. Las empresas y universidades se habían incorporado por completo al sistema y se habían establecido canales de comunicación entre los diferentes elementos del mismo. Resultan clave en este ecosistema el rol de nuevas instituciones como el MOST y la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NSFC), así como los grandes programas competitivos de financiación de la investigación que sustituyeron al modelo de apoyo directo por parte del Estado, única fuente de recursos hasta la década de 1980.

Con la implementación de estas reformas, el sistema que da lugar a la política científica y tecnológica en China y se encarga de implementar y financiar dichas políticas es muy complejo y diverso, si bien los principales actores en el actual ecosistema científico pueden identificarse como los siguientes [Springut et al., 2011], cuya relación se ilustra en la figura 5.2:

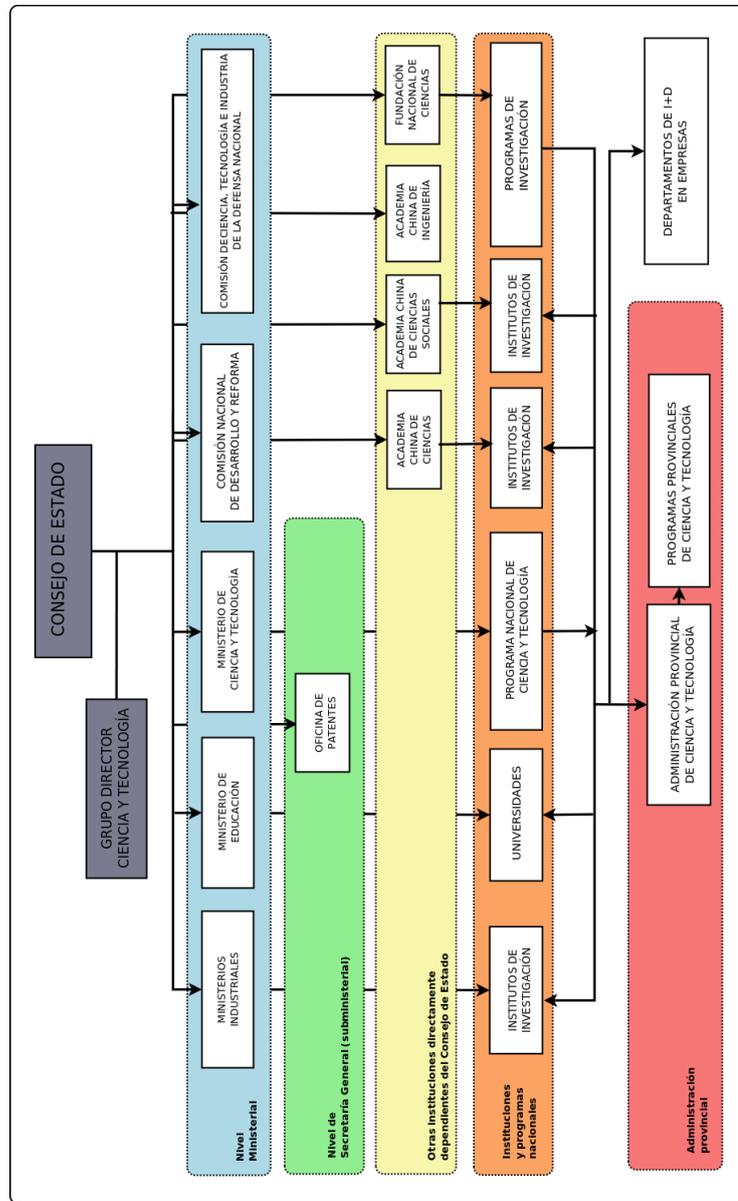
- El MOST (hasta 1998 como SSTC) desempeña el rol principal en lo referente a la elaboración de políticas científicas y tecnológicas y a la implementación de los principales programas de financiación de la investigación, siendo responsable de un 15-20 % del gasto nacional en I+D [Macgregor, 2010].
- La CAS y la NSFC , creada en 1986 a imagen y semejanza de la Fundación Nacional de Ciencia (Estados Unidos) (NSF) como órgano de financiación. Esta última ha crecido de forma constante en los últimos años, multiplicando su presupuesto por 42 en sus primeras dos décadas de existencia: de 80 millones de yuanes (unos 11 millones de euros) en 1986 a 3.400 millones de yuanes en 2006 (unos 481 millones de euros). Junto con el MOST, éstos son los principales organismos para la gestión de la política científica.
- La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (NDRC) , la principal institución de planificación del país, que depende del Consejo de Estado, que también cuenta con un presupuesto para la financiación científica.
- Otros ministerios con capacidad financiera también participan en menor medida financiando proyectos de investigación. Éstos son el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT) ,

el Ministerio de Educación (MOE) y el Ministerio de Agricultura (MOA) , entre otros.

- Los gobiernos municipales y locales, que tal y como sucedió en materia económica con el proceso de descentralización iniciado en 1984, también se incorporaron al sistema científico tras las reformas de la Administración, y actualmente aportan un 40-50 % del gasto público en ciencia, según cifras oficiales.
- El Grupo Director para la Ciencia y la Tecnología, creado originalmente en 1983 para dirigir la reforma en el sector y encabezado por el primer ministro, coordina la política científica. Cuenta con representantes de las agencias más representativas, incluyendo la NDRC, la NSFC, el MOST, el MOE, el MOA, el presidente de la CAS, el presidente de la Academia China de Ingeniería (CAE) y la Administración del Estado de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional (SASTIND) , órgano sucesor de la Comisión de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional (COSTIND) creado en 2008.

## **5.2 Desarrollo científico e innovación soberana**

En 2006 tuvo lugar una nueva conferencia nacional de ciencia y tecnología. El Comité Central del CCP y el Consejo de Estado promulgaron el MLP (2006-2020), actualmente en vigor. Los líderes chinos promulgaron el concepto de desarrollo científico.



**Figura 5.2:** Elementos del sistema chino de I+D.

Este concepto ha de entenderse en el contexto de las barreras a las que se enfrenta China para su desarrollo sostenible, que han sido resumidas por la OECD [OECD, 2008] como: a) las limitaciones del desarrollo en lo referente a la salud pública; b) las notables diferencias en el nivel de desarrollo entre las regiones costeras y el interior y entre distintos grupos sociales; c) las consecuencias medioambientales del desarrollo; d) la limitada creación de empleo; e) la concentración del sector manufacturero en productos de menor valor añadido; y f) la dependencia de la tecnología exterior.

Como apunta Cao [Cao et al., 2006], el MLP identifica cuatro problemas críticos en relación al sistema chino de ciencia y tecnología. En primer lugar, tal y como plantea en su preámbulo, el extraordinario crecimiento económico experimentado en las dos últimas décadas no ha ido acompañado de un desarrollo comparable en lo referente a la investigación y la innovación, sino que dicho crecimiento se ha debido a la introducción de tecnologías foráneas.

Las empresas extranjeras han transferido parte de su tecnología a cambio de una cierta apertura de un mercado para sus productos, lo que ha convertido a China en la fábrica del mundo y ha multiplicado sus exportaciones de alta tecnología. En este momento, las empresas chinas no controlan la mayor parte de propiedad intelectual ni los estándares internacionales, sino que éstos están bajo el control de quienes lideran la innovación en el mundo y responden a acuerdos internacionales.

Una segunda cuestión es el fracaso a la hora de aplicar la capacidad tecnológica china a la resolución de los grandes problemas de la nación, tal y como la generación de energía, el uso de agua y recursos, la protección del

medio ambiente y la salud pública. Los gravísimos problemas medioambientales derivados de una contaminación generalizada y sin precedentes siguen empeorando sin que hasta el momento se hayan planteado soluciones políticas y técnicas.

Un tercer punto es la siempre crítica defensa nacional. A pesar de su capacidad nuclear y los éxitos de su carrera espacial, la capacidad militar de china es todavía limitada, a pesar de los recursos puestos a su servicio. China es consciente de la importancia de la tecnología de doble uso, que puede emplearse para fines civiles y militares, y ha empezado a explotarla. Sin embargo, dicha tecnología está sometida a restricciones a la exportación y de ahí la necesidad de un desarrollo propio para alcanzar sus objetivos.

La cuarta cuestión es el estado de la ciencia china. A pesar del notable incremento en los fondos disponibles para la investigación, los resultados del sistema chino no han estado a la altura de las expectativas, como se analiza en profundidad en el capítulo 6. Dada la importancia clave de la ciencia y la innovación para el futuro de China, el país ha retomado su tradición de planificación científica y en particular se inspira en el primer Plan Científico a Largo Plazo (1956-1967), que, con un nítido diseño de arriba a abajo, se propuso concentrar los recursos disponibles en las áreas consideradas prioritarias en el momento.

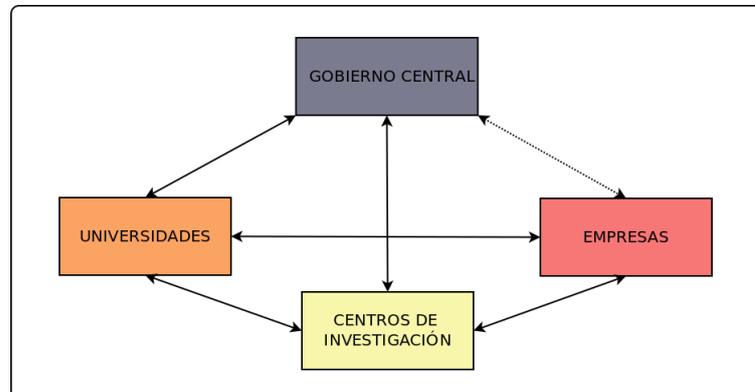
El MLP identifica 11 áreas prioritarias para la investigación (agricultura, defensa, energía, medio ambiente, manufacturación, recursos hídricos y minerales, salud pública, seguridad, tecnologías de la información, transporte y urbanización) y otras 8 áreas de tecnología de frontera, para cada una de las cuales se identifican proyectos prioritarios. Los objetivos que se

establecen para paliar las deficiencias identificadas, a alcanzar para 2020, son los siguientes:

- Mejora de la capacidad de innovación autóctona.
- Mejora de la capacidad científica y tecnológica para promocionar el desarrollo social y económico.
- Incremento significativo de la ciencia básica.
- Logro de resultados científicos y tecnológicos con impacto global significativo.
- Participación en el grupo de países orientados a la innovación para convertirse en una potencia científica y tecnológica.

Estos objetivos se plantean en el contexto de un sistema de innovación que se ha tornado más completo, tal y como ilustra la figura 5.3; así, se ha completado la evolución desde un sistema centrado en los institutos de investigación hacia un ecosistema en el que las empresas están integradas y las universidades desempeñan un papel fundamental.

Para concretar los científicos y tecnológicos, se proponen una serie de indicadores, de los que cabe destacar que el gasto en I+D ha de ascender al 2,5 % del GDP para 2020, que la ciencia y la tecnología han de suponer el 60 % del GDP y que China ha de situarse entre los cinco mejores países en relación a las citas recibidas por publicaciones científicas. Así pues, el plan chino incluye no sólo indicadores económicos sino bibliométricos, elevando estos últimos a la categoría de referencia nacional a la hora de evaluar el desarrollo del país. Esto, si bien sigue la tradición de cuantificar los logros a conseguir en los planes nacionales, supone incorporar nuevos



**Figura 5.3:** El sistema chino de I+D en la actualidad.

indicadores y abre la puerta a que medidas específicas de la producción científica -y de su calidad- se utilicen para cuantificar la consecución de los objetivos marcados en estos planes.

Con esta realidad en mente, el capítulo 6 aborda precisamente el análisis diacrónico del sistema chino de ciencia y tecnología tras las reformas, incluyendo no sólo los *inputs* del sistema (programas de financiación, establecimiento de prioridades, capital humano), sino también los *outputs* de mismo según indicadores bibliométricos que permite evaluar hasta qué punto China ha mejorado su posición en el sistema científico internacional y hasta qué punto está caminando hacia una mejora en la cantidad, la calidad, la variedad y la productividad de los componentes fundamentales de su sistema científico.

La idea clave del MLP para hacer de China una sociedad más innovadora es la *innovación autóctona* («zizhu huangxin»), un término muy difícil de traducir, puesto que, según recoge Suttmeier [Suttmeier, 2010], incluye elementos tan dispares como los siguientes:

- «Innovación original», es decir, innovación propiamente dicha.
- «Innovación integrada», entendida como la fusión de tecnologías ya existentes para crear nuevas aplicaciones.
- «Re-innovación», que implica la asimilación de tecnologías importadas.

Como indica MacGregor [MacGregor, 2010] el nuevo plan establece que no se ha de importar tecnología sin un plan para asimilarla: «se ha de ser consciente de que la importación de tecnologías sin énfasis en la asimilación, absorción y re-innovación está abocada a debilitar la capacidad de investigación y desarrollo autóctonos de la nación». Por tanto no se trataría de innovación en el sentido estricto de la palabra, sino de una combinación de esta última con la asimilación de conocimiento foráneo, lo que promueve el plan en vigor.

Considerando que el término tiene su origen en el miedo de China de depender de la tecnología extranjera, y de lo que esto puede suponer para su seguridad nacional y la expansión de sus empresas industriales; así como el hecho de que esta idea tiene sus raíces en el convencimiento de que China tiene que convertirse en el líder científico y tecnológico que fuera en el pasado, Suttmeier [Suttmeier, 2010] propone un término algo más preciso: *innovación soberana*.

La ambigüedad que sigue rodeando el término y la importancia que se le concede en los documentos de política científica como el MLP, lo ha convertido en un símbolo para la comunidad técnica china (incluyendo en este círculo elementos de la administración, la industria y la academia). Para algunos, justifica la persecución de objetivos tecno-nacionalistas, es

decir, la búsqueda de un sistema de innovación propio que se nutra de tecnología foránea para generar la propia; para otros, da pie a una visión más global en la que las capacidades de I+D a desarrollar por China formen parte de los flujos globales y no estén encorsetadas por un nacionalismo económico [Suttmeier, 2010].

En 2015 el primer ministro Li Keqiang presentó el plan «Made in China 2025», una estrategia a diez años vista inspirada en el concepto alemán de «Industria 4.0» y elaborada con el objetivo de transformar la economía china y pasar de una industria intensiva en trabajo y de poco valor añadido a un modelo más innovador y de mayor valor añadido. En una línea similar a la de la innovación soberana, el plan aspira a que los componentes y materiales producidos por la industria incluyan un 40 % de producción nacional en 2020 y un 70 % en 2025 [Li, 2015].

El plan contempla también la transferencia de conocimiento a la industria, hasta ahora muy mejorable. Así, tanto en el caso del MLP como en el caso de Made in China 2025, la nueva política científica china tiene como prioridad transformar una creciente inversión en I+D en una serie de resultados que incluyan innovaciones prácticas y aplicables, y por ello se emplean por primera vez indicadores bibliométricos como medida del éxito de dicha inversión. Hasta qué punto se está logrando estos objetivos, en qué sectores y con qué nivel de eficiencia son algunos de las cuestiones que se abordan en los tres siguientes capítulos.

### **5.3 La internacionalización del sistema chino**

Tras el progresivo incremento de la inversión en I+D experimentado por China, en el ámbito de la educación también se planteó aumentar el gasto, que en la década de 1980 no llegaba al 3 % (la mayor parte de los países en desarrollo situaban su gasto en el 4 % y el 5 %; China ha alcanzado esa cifra recientemente [China Education Center, 2015]). En 1977 se había restaurado el sistema de exámenes de acceso a la universidad, que en su primera convocatoria reunió a 5,7 millones de candidatos, de los cuales menos del 5 % fueron admitidos<sup>3</sup>. Desde entonces la inversión en educación ha aumentado progresivamente, en particular en la educación posterior, y desde 1985 se fue eliminando gradualmente la asignación de puestos de trabajo a los graduados, que empezaron a enfrentarse a un mercado de trabajo emergente [Wang and Zhou, 2011].

También a partir de la década de 1990 y en paralelo con la reestructuración de su sistema productivo y de financiación de la ciencia, China comenzó a internacionalizar su sistema universitario, y particularmente a seguir los modelos educativos de Estados Unidos y Europa y forzó la fusión de algunas de las instituciones de su red de educación superior en universidades de propósito general.

En 1992 se empieza a fomentar la cooperación entre los institutos de investigación, las universidades y las empresas, que comenzarán a desem-

---

<sup>3</sup>Millones de ciudadanos fueron desprovistos de toda posibilidad de instrucción al ser las universidades clausuradas durante la Revolución Cultural. Para esta primera convocatoria, se eliminaron todas las restricciones de edad y formación previa, por lo que el número de aspirantes fue un récord absoluto. No obstante, sólo un 4,8 % de ellos, 272.971 en total, fueron finalmente admitidos en la universidad.

peñar un rol cada vez más importante en el sistema chino de innovación. El énfasis en la cooperación universidad-instituto-empresa descrita en la figura 5.1 marca el inicio de una nueva reforma del sistema de ciencia y tecnología en la que la investigación se considera piedra angular del desarrollo económico y en el que el flujo de información es mayor que nunca [Wang and Zhou, 2011].

En 1998 se otorga a los gobiernos locales autoridad sobre las universidades de sus provincias y la educación superior empieza a obtener más inversión local, de forma que se establecen vínculos entre ésta y el desarrollo regional. Las universidades reciben el mandato de servir al desarrollo económico y promover el avance de la ciencia y la tecnología en la llamada «Estrategia para Revitalizar la Nación a través de la Ciencia y la Tecnología» [Zhang et al., 2003].

Este dramático crecimiento de los graduados, y en particular de los egresados de las universidades de mayor prestigio, alteró la relación entre las empresas públicas y el sistema de educación superior. Siguiendo el proceso de relajación del control sobre la educación superior, la política de asignación de trabajos a los titulados fue desapareciendo y se animó a éstos a encontrar empleo en el mercado con el apoyo del Gobierno y la universidad. Según Chen [Chen, 2004] la paulatina mejora en los sistemas de búsqueda de empleo de las universidades ha contribuido a la expansión masiva de la educación superior, en un contexto de crecimiento económico.

Tras unas décadas en las que ha oscilado entre una cierta apertura al exterior y el más completo de los aislamientos, y tras la consolidación de la apertura económica, China ha desarrollado numerosos programas nacio-

nales, regionales y locales destinados a reclutar expertos desde el exterior para dotar de personal a las instituciones de educación superior y también para la creación de start ups, para las que se ofrecen condiciones muy ventajosas<sup>4</sup>. Desde 1978, China ha enviado al exterior a 2,25 millones de estudiantes, y según la UNESCO sólo en 2011 un total de 340.000 estaban estudiando en el exterior (un incremento del 20 % respecto del año anterior).

A partir de 1998 se concedió a las universidades mayor autonomía para reclutar estudiantes y profesorado, para desarrollar su currículo y para desarrollar programas de intercambio. En la década siguiente se produjo un incremento exponencial del número de estudiantes universitarios, que pasaron de 3,41 millones en 1998 a 20,21 millones en 2008 [Gu, 2008]. De forma paralela, la duración media de la escolarización para la población entre 15 y 64 años aumentó de 4,1 años en 1980 a 5,96 años en 2000 [Cohen and Soto, 2007] y la proporción que finalizó la secundaria pasó del 15 % al 34 %; el bachillerato del 6 % al 11 % y estudios superiores del 1 % al 4 % para el mismo periodo [World Bank, 2003].

Según datos oficiales del MOE chino, el número de instituciones de educación superior asciende a 2.845, si bien esta cifra incluye todo tipo de centros, que atienden a un total de 24 millones de estudiantes [MOE, 2013] [MOE, 2015c], cerca de un 20 % de la población en edad universitaria, frente a tan sólo el 1,4 % que accedía a los estudios superiores en 1978 [China Education Center, 2015]. Este constante incremento en el número de graduados provocó que 7,5 millones de egresados llegaran al merca-

---

<sup>4</sup>Entre otras condiciones, una inversión inicial de entre 600.000 y dos millones de RMB, que podría llegar a los cincuenta millones para las ideas más prometedoras, subsidio para los alquileres, etcétera, según el Diario del Pueblo (25 de octubre de 2011).

do de trabajo en 2015 [MOE, 2015b]. 775 instituciones chinas declaran haber recibido estudiantes internacionales y se estiman en 377.054 los extranjeros que han cursado en China algún tipo de estudio en 2014, un 6 % más que en 2013. La mayoría de éstos proceden de Asia (60 %). Los países con más representantes son Corea del Sur (62.923), Estados Unidos (24.203) y Tailandia (21.296). De éstos, sólo un 10 % reciben financiación del gobierno chino [MOE, 2015a].

No obstante, según algunos informes [Farrell and Grant, 2005], sólo una fracción de los graduados chinos tiene las habilidades necesarias para trabajar en el mercado internacional. Este déficit queda matizado por el retorno de los chinos formados en el exterior, de los que se estima que 818.400 del total ya han vuelto a China, y el proceso se está acelerando. 186.200 estudiantes retornaron sólo en 2011 (un incremento del 38 % sobre el año anterior). Muchos de estos estudiantes vuelven con estudios avanzados; según los datos de la NSF, 4.526 ciudadanos chinos obtuvieron un doctorado en 2008, más del doble que cualquier otra nacionalidad [Fiegener, 2009].

Además, según la OECD, los chinos forman el 22 % de los científicos extranjeros en instituciones de educación superior de EE.UU., y en particular los estudiantes de posgrado procedentes de las universidades chinas de mayor prestigio (Universidad de Beijing, Universidad Tsinghua, etcétera) [OECD, 2008]. Así, a la diáspora china creada por motivos políticos o laborales se le une una diáspora del conocimiento que es especialmente importante en Estado Unidos, Canadá y Australia.

Sin embargo, el desarrollo experimentado por la economía china y las perspectivas de crecimiento de una iniciativa empresarial ante semejante

mercado, unidos a los efectos de la crisis financiera en Occidente (y los consiguientes recortes en la financiación de la investigación pública en determinados países) podrían alterar esta tendencia, además de impulsar la emigración de trabajadores muy cualificados a China. La mayor parte de este personal es de origen chino [Cai, 2002]. No obstante, en principio tales programas están abiertos a todo el mundo; se estima que en 2010 unos 230.000 trabajadores extranjeros contaban con un permiso de trabajo en China, la mayor parte dedicados a la docencia.

El país cuenta con una agencia especializada para su reclutamiento, que desde 1994 les exige un empleador chino, un examen médico y una cierta cualificación para la obtención del visado y el permiso de trabajo. Programas financiados por la Comisión Europea (EC) como el «EU Science and Technology Fellowship Programme China» (STF, 2009-2012) han financiado estancias de investigadores europeos en universidades chinas y en consecuencia han promovido la transferencia de conocimiento y la organización de actividades académicas conjuntas.

La presencia de personal formado en el exterior es especialmente relevante en la Academia, donde los chinos formados en el exterior dominan la mayor parte de las instituciones. El 78 % de los rectores de las universidades dependientes del Ministerio de Educación estudiaron en el extranjero, como lo han hecho el 63 % de los directores de tesis doctorales y el 72 % de los directores de los laboratorios de investigación considerados clave por la Administración china, según datos del propio ministerio [MOE, 2004]. Asimismo, el 81 % de los académicos de la CAS, el 54 % de los de la CAE y el 72 % de los investigadores principales de los proyectos financiados por el Programa 863 también obtuvieron su educación en el exterior [Zhao, 2007].

Muchos de los chinos formados en el exterior, además de asimilar conocimientos y desarrollar habilidades, han adquirido el idioma (generalmente, inglés) de sus países de acogida y han desarrollado una cierta sensibilidad cultural, lo cual les permite establecer relaciones profesionales con el extranjero en base a su red de contactos, una vez retornados a China, lo que les hace especialmente valiosos para los grandes proyectos científicos colaborativos y la atracción de inversión extranjera en cualquier sector de la economía.

En respuesta a la mayor complejidad de la comunidad de ciudadanos chinos, o de origen chino, en Ultramar, China modificó su política oficial en 2001, desde la directriz *Volver y Servir a la Patria* a la más sensible *Servir a la Patria*, que alude igualmente a la responsabilidad para con China de sus ciudadanos, allá donde se encuentren, pero que abre la puerta a una colaboración desde sus países e instituciones de acogida.

De hecho, los programas introducidos por las universidades chinas de mayor prestigio incluyen gran variedad de iniciativas, incluyendo becas para no residentes, proyectos en colaboración y el fomento de redes científicas y empresariales internacionales, con el objeto de fomentar la transferencia de conocimiento y tecnología. Se alude así a una identidad cultural común y se responde a la predisposición de la diáspora china a contribuir al desarrollo del país independientemente del trasfondo político.

Una serie de entrevistas llevadas a cabo a gran escala en Australia y Canadá, dos de los destinos más escogidos por los chinos, revelan que los lazos con las regiones e instituciones de origen se mantienen aunque el entrevistado no tenga en mente regresar y que casi todos ellos participan de algún modo en proyectos colaborativos, tales como cur-

sos, selección de talentos, participación en consorcios científicos, etcétera [Yang and Welch, 2012].

Estas redes tienen un impacto muy relevante para el desarrollo de la innovación en China, pues construyen puentes entre el núcleo científico chino y los entornos extranjeros más innovadores, con acceso a los laboratorios mejor equipados, las revistas de mayor impacto y a las innovaciones técnicas y metodológicas. El hecho de compartir un idioma y una cultura común facilita enormemente la transmisión de este conocimiento en un momento en el que el proceso científico requiere cada vez más una estrecha colaboración internacional.

El desarrollo de la ciencia es un proceso cada vez más global. La imagen del investigador aislado en su laboratorio ha dejado paso a las grandes colaboraciones internacionales. La genialidad individual de un Ramón y Cajal, capaz de llevar a cabo una de las mayores aportaciones de la ciencia española al conocimiento universal en un ambiente tan poco proclive a la innovación como la España decimonónica, puede encontrarse todavía en notables científicos hoy en día, pero la ciencia requiere cada vez más de la cooperación, la colaboración y la comunicación entre científicos, técnicos y gestores distribuidos por todo el orbe.

Según la Royal Society, más del 35 % de todos los artículos publicados en las revistas internacionales son colaborativos, mientras que sólo el 25 % lo eran hace quince años [Royal Society, 2011]. El desarrollo de las telecomunicaciones y el abaratamiento de su coste han impulsado este proceso. En general, los grandes problemas a los que se enfrentan los científicos requieren soluciones globales cada vez más complejas, por lo que la ciencia no es solamente cada vez más colaborativa sino más interdisciplinar e

internacional. Los resultados de la investigación son un bien público, pero en determinadas áreas la primera nación en hacerse con un avance puede contar con ventajas significativas en lo estratégico o lo comercial.

Por ello, países como China, Estados Unidos y muchas naciones europeas colaboran pero también compiten por los nuevos descubrimientos y sus potenciales aplicaciones en todos los campos<sup>5</sup>. Entre 2000 y 2008 el GERD de China creció anualmente un 22,8 % de media, lo que permitió que la fracción del GDP dedicada a I+D creciera del 0,9 % al 1,54 %. En 2012 se logra el objetivo de duplicar la cifra de 2000: Un 1,84 % de la riqueza generada por China se dedicó a la I+D; considerando que el tamaño de la economía había crecido notablemente en el periodo, la parte del pastel que se entrega a la ciencia ha crecido notablemente en poco más de diez años.

La cifra china supera la de muchas economías avanzadas. China dedicó en 2014 un 2,05 % de su GDP a I+D según cifras oficiales de la OECD, superando el 1,7 % del Reino Unido y el 1,22 % de España. No obstante, todavía queda lejos de las economías más innovadoras, y en particular, del 4,3 % de Corea del Sur, el 3,6 % de Japón, el 2,8 % de Alemania y el 2,7 % de Estados Unidos<sup>6</sup>.

También según cifras de la OECD y en términos de paridad de poder ad-

---

<sup>5</sup>El CERN, por ejemplo, es una institución fundamentalmente europea, pero Estados Unidos tiene rango de país observador y China participa en algunos acuerdos de cooperación; algunas de sus instituciones como la Universidad de Beijing, el Instituto de Física de Altas Energías (establecido por Mao en 1972) y la Universidad de Ciencia y Tecnología de China, dependiente de la CAS, participan en las labores de análisis de datos.

<sup>6</sup>El objetivo de China es llegar al 2,5 % en 2020, cifra que duplicaría el actual gasto de España, que se situó en un 1,22 % en 2014.

quisitivo (es decir, teniendo en cuenta el coste de la vida), la inversión china en I+D pasó de 30,4 miles de millones de dólares en 2000 a nada menos que 213,1 en 2012, multiplicándose así por siete; los resultados no se han hecho esperar. Si bien Estados Unidos sigue siendo el líder indiscutible en la ciencia mundial, ésta se encamina hacia un mundo multipolar, en el que la investigación científica se va estructurando en torno a una serie de ejes de actividad distribuidos por todo el planeta. En el lustro de 2002 a 2007 los países emergentes duplicaron su inversión en I+D, de modo que su cuota en el gasto mundial pasó del 17 % al 24 % [Royal Society, 2011].

El estudio de las características fundamentales del sistema chino de investigación y desarrollo, el reciente desarrollo de su proceso de internacionalización, y en particular sus recursos, sus resultados y su productividad tiene sentido si los parámetros utilizados para el análisis pueden compararse con los de otras naciones y en particular con las potencias científicas establecidas a las que China se quiere aproximar. Este estudio se abordará en detalle en el capítulo 6.

## **5.4 Un sistema de universidades de elite**

Tras la proclamación de la PRC, el sistema soviético se tomó como modelo para la reestructuración de la educación superior en China. Como resultado de este proceso, el número de instituciones generalistas disminuyó en favor de las universidades especializadas y el MOE obtuvo mayores poderes para ejercer la supervisión de los centros. Sin embargo, tras la ruptura con la Unión Soviética, el gobierno chino trató de combinar

la tradición confuciana con el sistema occidental hasta la erupción de la Revolución Cultural, que llevó el sistema al colapso; el MOE cesó sus funciones entre 1967 y 1974 [Finish National Board of Education, 2005].

Tras la muerte de Mao y el inicio de las reformas, se restableció un sistema obligatorio de seis años de educación primaria y tres de secundaria, al que se añaden otros tres de secundaria no obligatoria. Se establecieron escuelas «clave» para satisfacer las necesidades de la elite, y se instauró un sistema de formación profesional. Uno de los primeros cambios en el sistema de educación superior tras la Revolución Cultural fue la recuperación de un modelo único de universidad y de las pruebas de acceso a la universidad. La reforma se basó en dos documentos aprobados tras el cisma con la Unión Soviética, la «Decisión de Unificar la Gestión del Sistema de Educación Superior» y los «Sesenta Artículos de Educación Superior».

El primero, aprobado por el Consejo de Estado en 1963, es un decreto de regularización del sistema educativo que establece estándares académicos y otorga al Ministerio de Educación la máxima autoridad y capacidad de gestión; el segundo es una resolución que emplaza a las universidades a formar a los expertos necesarios para la construcción del socialismo, subordinando todas las funciones de la universidad a la docencia [Hayhoe, 1989]. Éstos documentos, con leves modificaciones, han servido de guía para la reforma de la educación tras la muerte de Mao, que fue formulada en la llamada «Decisión para la Reforma del Sistema Educativo» de 1985 [Finish National Board of Education, 2005].

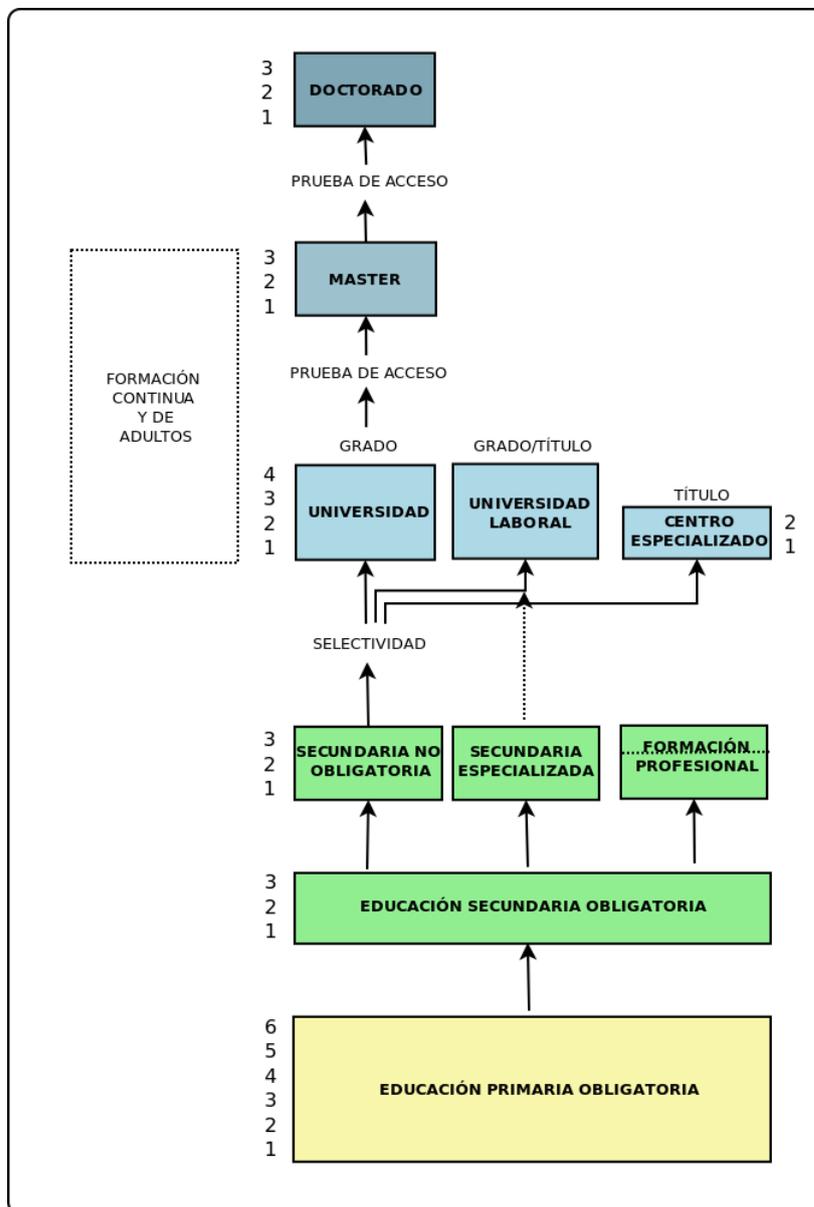
A comienzos de la década de 1980 el sistema chino de educación superior aún seguía el modelo soviético. Las ciencias y las artes se enseñaban en

universidades generalistas, mientras que determinados campos, tales como ingeniería, magisterio o medicina, contaban con instituciones propias. Las universidades, como se expuso anteriormente, estaban encargadas de ubicar laboralmente a sus graduados, un sistema que fue eliminado gradualmente.

La educación es obligatoria en China durante nueve años: seis de educación primaria y tres de educación secundaria obligatoria. Tras completar estos dos periodos, los estudiantes se enfrentan a un examen para el acceso a la secundaria no obligatoria, que está dividida en tres tipos de centros: centros generales -a modo de institutos de bachillerato, que preparan al estudiante para la educación superior-, centros «especializados» o «vocacionales» y centros de formación profesional. Los graduados de estos dos últimos centros acceden directamente al mercado de trabajo. Aunque es posible para los alumnos de un centro especializado optar al acceso a una universidad laboral, en la práctica esto sucede raramente [Finish National Board of Education, 2005].

El acceso a la universidad es muy competitivo. Tanto las universidades como algunas universidades laborales conceden títulos de grado, mientras otras y los centros especializados de formación post-secundaria ofrecen títulos superiores no universitarios. Existen además numerosos centros de formación continua y de adultos que ofrecen programas muy variados, que oscilan entre un mes y tres años. Algunos de estos centros tienen potestad para conceder un título de grado tras cuatro años de estudio.

En 1995 el MOE chino inició un programa de universidades clave denominado Proyecto 211 con el objeto de elevar los estándares académicos de sus universidades. En los primeros cuatro años del proyecto, un

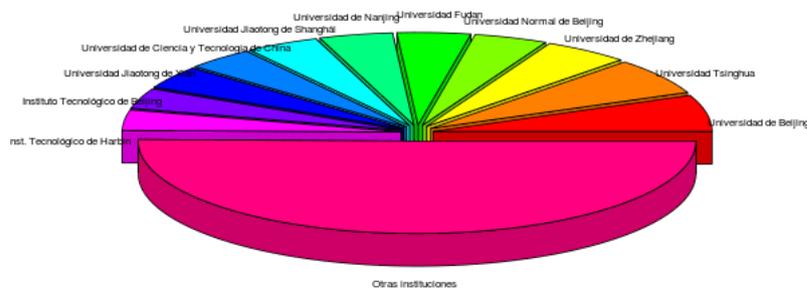


**Figura 5.4:** El sistema educativo chino.

centenar de ellas recibieron en torno a 1.900 millones de euros de financiación adicional [People's Daily, 2008] para lograr este cometido. Tres años después, coincidiendo con el centésimo aniversario de la Universidad de Beijing, se inicia un proyecto para dotar a China de una selecta red de universidades de elite, a iniciativa del presidente Jiang Zemin, como un subgrupo de las instituciones incluidas en el Proyecto 211. El MOE publicó el «Plan de Acción para Revitalizar la Educación para el Siglo XXI» y a través del denominado Proyecto 985, se persigue el objetivo de establecer un número de universidades capaces de competir con sus homólogas occidentales, así como una red de institutos de investigación de excelencia [Downes et al., 2012].

Sólo dos instituciones, la Universidad de Beijing y la Universidad Tsinghua, consideradas las Harvard y Yale de China, forman parte de una primera categoría dentro del proyecto, la de las instituciones cuyo objetivo es ascender a la categoría de referentes mundiales en la educación superior. A éstas se suman otras diez de una segunda categoría, que han de liderar el sistema chino y ser mundialmente conocidas por sus resultados. Por último, otras 27 instituciones forman un tercer grupo dentro del proyecto. La lista completa puede consultarse en las tablas 6.1 y 6.2. Las doce instituciones que forman las dos primeras categorías han recibido en torno a la mitad de la financiación especial del proyecto, tal y como muestra la figura 5.5. Por ejemplo, la Universidad de Beijing y la Universidad Tsinghua recibieron unos 250 millones de euros para el primer trienio del proyecto [Cao, 2002]. El proyecto 985 y las instituciones que lo forman se considerarán en el capítulo 6.

Éstas se concentran además en las zonas más desarrolladas del país: la municipalidad de Beijing (Universidad de Beijing, Universidad Tsing-



**Figura 5.5:** Financiación de las universidades del Proyecto 985.

hua, Universidad Normal de Beijing, Instituto Tecnológico de Beijing), la municipalidad de Shanghai (Universidad Fudan, Universidad Jiaotong de Shanghai<sup>7</sup>) las provincias más industrializadas de la zona meridional y oriental del país (Universidad de Zhejiang, Universidad de Nanjing). La zona norte del país tiene una única representante entre las universidades (Instituto Tecnológico de Harbin), y la zona central tiene dos (Universidad de Ciencia y Tecnología de China -que fue trasladada desde Beijing a la provincia central de Anhui durante la Revolución Cultural- y Universidad Jiaotong de Xian). El área occidental de China, donde se concentran las provincias menos industrializadas, no tiene ninguna de estas instituciones en su territorio.

Esta concentración de instituciones no es novedosa: Entre 1919 y 1937

<sup>7</sup>El término «jiaotong», transporte en chino, hace referencia al origen de la institución, que dependía de la Agencia Estatal de Telégrafos y Comunicaciones. A día de hoy, la universidad es un centro generalista y no traduce el término, que ha pasado a formar parte de su nombre oficial.

cerca de tres cuartas partes de los licenciados habían recibido su educación en Beijing y Shanghái. A pesar de la creación de nuevos centros desde 1949, el rol de las instituciones clave no se ha modificado [Cao, 2002]. Estas universidades han sido elegidas por el Gobierno central, que mantiene la organización y gestión del proyecto. La financiación procede tanto del Ministerio de Educación y el de Hacienda como de los gobiernos locales. La financiación adicional que cada una de las universidades recibe depende de diversos factores, tales como la posición de la institución y los objetivos que se le asignan, el status que ha de alcanzar y la situación financiera del gobierno provincial correspondiente. Sin embargo, algunos autores [Cheng and Wang, 2012] consideran que el sistema de financiación del Proyecto 985 carece de criterios sistemáticos en lo referente a cuánto invertir en cada institución.

Además de los fondos gubernamentales, las universidades cuentan con empresas establecidas en su seno que comenzaron a desarrollarse tras las reformas de la década de 1980. Estas empresas, que originalmente ofrecían servicios de imprenta y publicación a terceros, se han orientado hacia servicios de mayor valor añadido, cuentan con la base tecnológica que aporta la institución y pueden recibir fondos adicionales del Gobierno, que las considera un modelo del rol de las universidades en el desarrollo de una economía basada en el conocimiento [Wang and Zhou, 2011]. Las universidades todavía dependen de los fondos públicos, pero la creciente integración con las empresas las está acercando al mercado según aumenta el flujo de información e inversión.

De hecho, la diversificación en las fuentes de financiación es una de las características propias de las universidades de elite, que se une al hecho de tener como objetivo trascender los límites del estado-nación y convertirse

en referentes mundiales, lo que no sólo atañe a los resultados de investigación sino al hecho de incorporar estudiantes y profesorado extranjeros y desarrollar nuevas relaciones con distintos socios, tanto en China como en el exterior, e incluyendo empresas y otras instituciones de educación superior.

La disponibilidad de fuentes adicionales de financiación ha permitido a estas universidades de elite reclutar a mejores académicos, mantener bibliotecas e instalaciones de mayor calidad y lograr mejores resultados. Esta concentración de recursos atrae a los estudiantes con mejores resultados en la educación secundaria, lo que contribuye al prestigio de las instituciones. Las 118 universidades que forman parte del Proyecto 211 (que incluyen a su vez a las pertenecientes al Proyecto 985) forman a cuatro quintas partes de los estudiantes de doctorado, dos tercios de los de posgrado, la mitad de los estudiantes extranjeros y un tercio de los estudiantes de grado. Cuentan, además, con el 96 % de los laboratorios considerados clave por el Estado y reciben el 70 % de la financiación para investigación [People's Daily, 2008].

En relación a la financiación, como sugiere el informe de Global R&D Funding Forecast [Grueber and Studt, 2011], el análisis de una potencia científica emergente, y por tanto el impacto general de su marco de política científica, requiere el análisis del gasto en investigación (en relación al conjunto de la economía china), la relevancia de su fuerza de trabajo dedicada a la ciencia y la producción científica, tanto en términos absolutos como relativos al esfuerzo invertido.

El estudio de macro indicadores tales como la inversión en I+D en relación al GDP, el personal investigador, el número de artículos publicados,

las citas que reciben esos artículos, el número de patentes internacionales registradas, etc, son medidas cuantitativas que nos permiten obtener una medida del impacto real que tienen las políticas de desarrollo científico de China en el escenario internacional.

Con este objeto, más adelante se analizan indicadores científicos y tecnológicos procedentes de diferentes bases de datos referentes a la producción científica, tales como las de la OECD, Thomson Reuters, Elsevier y UNESCO, así como medidas de la internacionalización del sistema universitario y de su posición en relación a los estándares internacionales. Se prestará especial atención al rol de las universidades de elite y a su desempeño en relación a estos indicadores.

Se compararán además las cifras chinas con las de las principales potencias científicas (Estados Unidos, Taiwán, Corea del Sur, Japón y las principales naciones europeas), tanto en lo referente a la producción en términos absolutos como a la productividad relativa en relación a la inversión en I+D y al tejido productivo, para determinar los principales aspectos internacionalmente comparables de la emergencia científica de China.

## **5.5 El caso de la nanotecnología**

Hacia final de la década de 1960 y comienzos de la de 1970, los científicos integraron las funciones de una unidad central de proceso de un ordenador en un pequeño conjunto de dispositivos electrónicos que denominaron microchips, del griego *micro*, es decir pequeño. De hecho, en el sistema internacional, el prefijo «micro» se utiliza desde 1960 para desig-

nar a la millonésima parte de la unidad fundamental, y así un micrómetro (o micra) es la millonésima parte del metro, o la milésima del milímetro. También en 1960 se introdujo el prefijo «nano», del griego *nanos* -enano-, para designar a la milmillonésima parte de la unidad fundamental. Más allá de la unidad de medida, el término se ha extendido con el desarrollo de la nanotecnología, cuyo concepto fue inicialmente explorado por Richard Feynman en 1959.

La nanotecnología es la manipulación de la materia a una escala muy pequeña, que según la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (Estados Unidos) (NNI), un programa federal para la promoción de proyectos nanotecnológicos, queda comprendida entre 1 y 100 nm, es decir, entre la diez millonésima y la milmillonésima parte de un metro. Se espera que la nanotecnología permita el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos con aplicaciones en el campo de la medicina, la electrónica, la energía, etc. No obstante, esta tecnología también está en el punto de mira por su posible toxicidad y el impacto ambiental de los nanomateriales.

La nanotecnología es un campo prioritario para China. En 2001, el gobierno chino creó el Programa Nacional para el Desarrollo de la Nanociencia (NNDP), que recibió en sus tres primeros años una inversión total de 830 millones de yuanes (unos 117 millones de euros). No obstante, los orígenes del interés y la promoción de la nanociencia han de hallarse en los programas de financiación especial desarrollados a partir de la década de 1980, que incrementaron paulatinamente los fondos disponibles para aquellas instituciones que emprendieran proyectos de investigación en el área, como muestra las tablas 6.1 y 6.2. Además, el presupuesto para el quinquenio 2006-2010 ascendió a 2.000 millones de yuanes por parte del gobierno central y 2.300 millones de yuanes adicionales procedentes de

| Año  | Programa/Plan                                 | Objetivo                              | Inversión (EUR) |
|------|---|---------------------------------------|-----------------|
| 1982 | Tecnologías clave de I+D                      | Nanomateriales                        | 8,5 millones    |
| 1986 | Desarrollo de alta tecnología (863)           | Nanomateriales y sistemas MEM         | 52,3 millones   |
| 1988 | «Antorcha»                                    | Financiación de 8 proyectos           | 11,3 millones   |
| 1997 | Proyectos clave de investigación básica (973) | Fomento de la investigación básica    | 113,3 millones  |
| 1997 | Plan de innovación del conocimiento           | Nanotubos de carbono y nanomateriales | 8,3 millones    |
| 2006 | Desarrollo científico a medio y largo plazo   | Uno de los cuatro grandes proyectos   | n/d             |

**Tabla 5.1:** La nanotecnología en los programas de financiación.

la administración local (unos 608 millones de euros en total).

En relación a la producción científica cuantificable, China ya ha empezado a obtener resultados significativos. Los artículos publicados por investigadores chinos en este área pasaron de menos del 10% del total mundial en 2000 a casi una cuarta parte del total en menos de una década y el país se aproxima a Estados Unidos como líder mundial en este aspecto. No obstante, son muchos los factores a considerar y China no es tan influyente como Estados Unidos en las principales revistas científicas del sector, si bien está incrementando su presencia en ellas [Bhattacharya et al., 2012].

Así pues, la nanotecnología es un excelente ejemplo de cómo los programas de financiación especial descritos anteriormente se han convertido en la piedra angular del desarrollo de nuevos campos de investigación considerados clave para China. Además, las posibilidades que la nanotecnología ofrece, tanto para mejorar procesos industriales como para poner en práctica otros nuevos, la convierte en una tecnología clave para países en desarrollo (por su aplicación a la agricultura, la energía, el tratamiento de aguas, etc.) y ofrece una ventana de oportunidad única para alcanzar el nivel tecnológico de las naciones más industrializadas, que ha sido precisamente el objetivo primordial de los programas chinos de ciencia y tecnología desde la fundación de la PRC.

Sobre la base del análisis del sistema chino desarrollado en los capítulos 6 y 7, el capítulo 8 estudia el caso particular de la nanotecnología.

Pérez Calle, E. China's Research and Development System in an International Environment, *Journal of Science and Technology Policy Management*, Vol. 5 Iss: 2, pp. 136 - 161.

## **Chapter 7**

# **THE PROFILE AND EVOLUTION OF CHINA'S RESEARCH ACTIVITY INDEX IN THE INTERNATIONAL CONTEXT**

### **7.1 Introduction and Objectives**

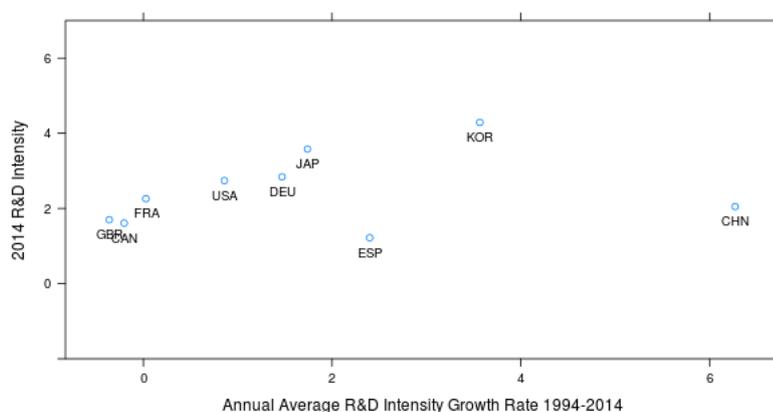
In 1949, at the time the People's Republic of China was founded, there were only 207 higher education institutions in the country that hosted 117,000 students -less than 0.2% of the total population. In this environment, the first five Year Plan starts in 1953 with a strong emphasis

in heavy industry. Following USSR's guidelines, 42.5% of all investment went to industry, and 85% of it was devoted to the development of new heavy industries [Wang, 1993]. Mao used the Soviet model as a reference for higher education too, and the approaching of separating teaching from research was adopted. Research institutes were isolated from universities and enterprises, and universities focused on teaching only [Wang and Zhou, 2011].

In 1956, the first Scientific Long-Term Plan (1956-1967) was established on the same grounds. The plan aimed to concentrate resources on priority research fields, and most of these fields were linked to heavy industry and defense. A number of researchers [Chen, 1990] [Riskin, 1987] [Volti, 1982a] [Volti, 1982b] [Volti, 1982c] consider that this emphasis on research for the heavy industry did remain unchanged for the following two decades, despite the changes in the science policy caused by the political turmoil of the 1960s and 1970s.

In 1978, the Chinese government started to add research as part of the universities' mission and to encourage a certain degree of coordination between these and research centres, even when the government itself retained its role as the central node of the scientific and technological system. The new National Plan for the Development of Science and Technology (1978-1985) was still strongly focused on applied research and heavy industry, but it paved the way for new research fields, such as particle physics and genetics [Wang, 1993]. The Sixth and Seventh Five-Year Plans (1981-1985 and 1986-1990 respectively), while still oriented towards short-term economic development instead of generation of knowledge, initiated a trend where the share of light industry projects increased over the years.

In the last two decades, China has increased the share of its GDP devoted to research and development, this is, its research intensity. As previously shown in figure 6.2, China's R&D expenditure as a share of the GDP has been growing much more rapidly than these of the United States, Canada, Korea, Japan or any considered European country. This growth is even more impressive given that China's GDP has simultaneously grown by rates over 7% per year on that period, as shown in figure 7.1.

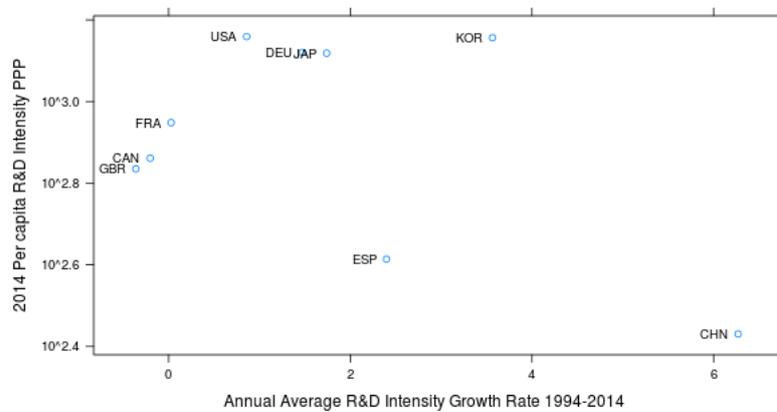


**Figure 7.1:** Research intensity in 2014 (as percentage of nominal GDP) and annual average growth rate of research intensity, 1994-2014. Source: OECD.

The current figure for China's research intensity is slightly over 2%, which is still below Korea, Japan, Germany, United States, and France, but already above the United Kingdom, Canada and Spain. Should China maintain this rate of growth, it could reach the main European countries by 2020, and approach the current research intensity of Korea in ten years.

While China is a 1.4-billion strong economy experiencing a sustained growth of its annual increase in R&D expenditure, as shown in figure 6.2,

China's research intensity per capita is still low compared to the world's main scientific powers. China's GDP per capita in purchasing power parity terms is slightly above USD 13,000<sup>1</sup>, which is close to the world's average, and its research intensity per capita is only around 18%-21% of these of the top expending (per capita) scientific powers, i.e. the United States, Germany, Korea and Japan (plotted in the upper area of figure 7.2).



**Figure 7.2:** Per capita research intensity in 2014 (USD PPP) and annual average growth rate of research intensity, 1994-2014. Source: OECD.

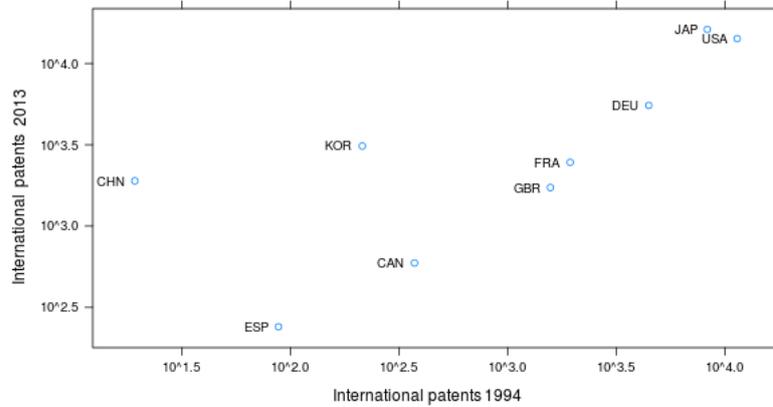
The growth of China's research intensity has boosted its results. As it was found in the previous chapter, starting in the 1990s China has successfully improved its position in the international scientific arena and its share of the world's scientific output –China appears to be transforming into a major player in the world's scientific arena. A growing investment in R&D (China has already outranked Japan and become the second largest performer) and a strong role of a Government-backed industry has reshaped

<sup>1</sup>China's GDP per capita PPP was USD 13,244 according to the IMF (2014).

China's economy, currently focused on value added, high technology outputs instead on just the heavy industry as it did before.

As previously noted, knowledge- and technology-intensive (KTI) manufacturing (such as aircraft and spacecraft; electronics) and services (such as communication; financial), which require high standards and advanced skills, accounted for 27% of the world's GDP, and this share is on the rise, especially in industrialised economies, where the KTI share grew from 29% to 32% between 1997 and 2012, mostly due to increases in commercial and public (education and health) knowledge-intensive (KI) services.

Particularly, the developing world is increasing rapidly its share of KTI production, partly due to China's successful industrialization and diversification. Between 2003 and 2012, China high technology manufacturing increased fivefold and its share of global production grew from 8% to 24% [National Science Board 2014, 2014]. This is a complete shift of paradigm in the situation of the Chinese industry. While science and technology policy in the People's Republic of China was always oriented towards applicable results instead of basic research, most of the research output was rarely transferred to the industry before the reforms. Simon [Simon, 1984] and Suttmeier [Suttmeier, 1986] estimate in less than 10% the amount of all applicable research results back then. Figure 7.3 shows how China has increased its output in terms of international (triadic) patents from 1994 to 2013 (latest available data). While China has increased the number of patents in two decades, has surpassed Spain, Canada, and recently the United Kingdom, and it is approaching some other industrial economies, it is still lagging being the world's leaders in this field, i.e. Japan and the United States.



**Figure 7.3:** Triadic patents in 1994 and 2013.

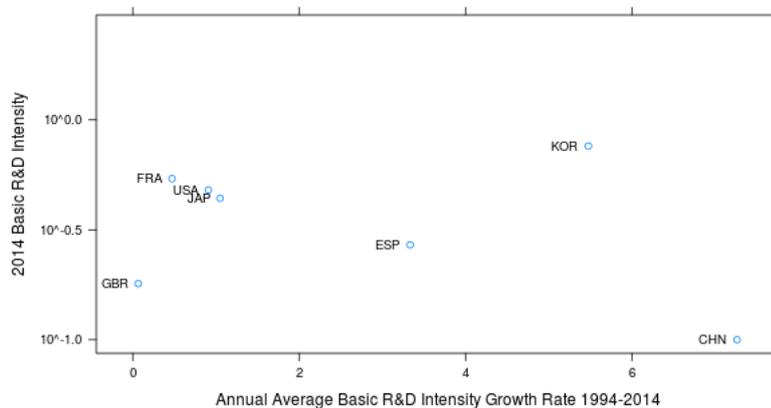
However, despite China's increased production of international patents and the higher value added of China's industrial production, the emphasis on applied research still remains, and China is currently investing more in development and applied research than other industrialized nations, whose effort in basic research is stronger. As previously found, investment in basic research accounts for just 0.1% of its GDP. China's basic-research spending has historically been extremely low -about 4.8% of all research expenditure in 2012 and 2013 compared with 10 to 25% in developed nations. However, this trend could start to be reversed in 2014 with an increased appropriation for basic research [Qiu, 2014].

Figure 7.4<sup>2</sup> shows how while the growth in China's basic research intensity is above any other considered country, its rate is the lowest of all: China (0,1%), United Kingdom (0,18%), Spain (0,27%), Japan (0,44%),

<sup>2</sup>Latest data available for France, Spain, United Kingdom and United States is 2013. Not enough data available for Germany and Japan. Some data for Korea (1994), Spain (1994,1996,1998) and United Kingdom (1994-2006) estimated.

United States (0,48%), France (0,54%) and Korea (0,76%).

China's investment in basic research is very limited. Also, it has been shown that China is currently devoted to science and technology applied programmes, i.e. those linked to economic growth, technological development and national defense, at the expenses of social science and humanities. Regarding the outputs of these endeavours, Chinese researchers have dramatically increased their share of the world's scientific publications. Analysing the nature of these publications can lead to a better understanding of the outputs of China's science and technology system, and to evaluate to which extent these reflect the emphasis on applied research of China's current science policy.



**Figure 7.4:** Basic research intensity in 2014 (as percentage of nominal GDP) and annual average growth rate of basic research intensity, 1994-2014. Source: OECD.

Bibliometric indicators have been previously used to depict China's higher education and research system in an increasingly globalised scientific environment. Some of the indicators used before were: the amount of sci-

entific articles published in a set of journals, citation-based indicators and international patents granted. These have been contextualised by the use of macroeconomic data, such as GDP and research intensity data, industrial production data and data on international education and mobility.

We aim now to further explore the profile of China's science and technology system. Because of the amount of information to be considered in bibliometric analyses, it is usual that measuring aspects cover one geographical area [Yamazaki, 1994] [Van Raan, 1997] [Glaenzel, 2000], one research speciality [Guan and Gao, 2008] [He and Guan, 2008] or one particular aspect of science, such as collaborative countries or institutions [Gupta and Dhawan, 2003] [He, 2009].

With this limitation in mind, we will continue our analysis of the Chinese science and technology system by building on the previously developed research and focusing now in one of its main characteristics: how the research effort produces outputs in different areas of knowledge. Analysing the fields in which China's researchers have major activity will allow us to develop a deeper insight of the profile of China's science and technology system, and to have a better knowledge of whether these outputs are contained in those areas that belong to industrial production or not.

In this case, research publications in a set international journals, and particularly those in the Scopus database because of its coverage, will be used as a bibliometric indicators. This bibliometric variable was successfully identified by Vinkler [Vinkler, 1988], Rinia [Rinia et al., 1998], He [He et al., 2005] and Tsay [Tsay, 2008] as a reliable measure of scientific production. Scientific papers can be assigned to a set academic disciplines, and therefore used with this purpose.

In order to further study the profile of China's research and development system in an internationally comparable way, the research outputs of other eight countries will be analysed in the present paper: the USA as the world's leading scientific power, four major European nations (France, Germany, Spain and the United Kingdom), Japan as leading East Asian scientific power and South Korea as emerging power in the same area. USA, France, Germany and the United Kingdom are considered to be the best performing countries in the West, while both Canada and Spain are of medium strength. Japan and South Korea are considered to be among the scientific leaders in Asia as noted by authors such as Leydesdorff, Zhou [Leydesdorff and Zhou, 2005] [Zhou and Leydesdorff, 2006] and others [Shelton et al., 2007] [Glaenzel, 2008]. We will then consider whether China's profile is trending towards one or more of these nations or if it is a kind of its own.

It has been already evidenced the fact that China is heavily investing in applied science. In addition to this, in order to provide further evidence of China's emphasis in science and technology applied research, and particularly those linked to economic growth, technological development and national defence, at the expenses of social science and humanities, the study of the research output will be split into coherent disciplines, to gain a further insight into the nature of China's emergence as scientific power.

Finally, these study of bibliometric indicators that are divided into different areas of knowledge will be also considered in a diachronic approach. The evaluation of the selected bibliometric indicator will be done year by year for a 21-year period, starting in 1994 till the last available data of 2014 to better understand the inner dynamics and the evolution of the Chinese higher education system. This approach will allow us to compare

China's evolution by this particular measure to those of other scientific powers, for which we will use the same yearly variables and discipline classification.

It has been shown that Asian countries are starting to contest the West's lead in scientific output [Von Bubnoff, 2005]. As a country's research impact in a given field is related to its innovative capacity [Lim, 2004] [Zitt and Bassecouard, 2008], this approach allow us to consider China's. We aim also to evaluate to which extent China's strategy, introduced in the previous section and summarized as making emphasis on applied knowledge as the main engine of the national economy and a guarantee of sustained economic growth, can be related to its scientific production in terms of research papers published in international, peer-reviewed journals, along the last decades, and the distribution of this production among different represented disciplines and areas of knowledge.

## **7.2 Measuring Research Output and Specialization**

### **7.2.1 The Activity Index**

As previously considered, while bibliometric indicators can provide a measure of scientific activity of a given country or research field, a number of publications have considered which are the indicators to be estimated as a reliable evidence of scientific production [Vinkler, 1988] [Rinia et al., 1998]. The use of bibliometric techniques and rankings based

on many kinds of indicators has led to more interregional competition not only among Europe and the United States [Horta and Veloso, 2007] [Shelton and Holdridge, 2004], but also between the West and upcoming Asian countries [Glaenzel, 2008] [Hu and Rousseau, 2009].

In this context, in order to better illustrate the emergence of China as a scientific power that was outlined in the previous section we have focused in the presence of China-based authors in scientific papers published in a number of international journals; the amount of scientific articles published on a set of journals, the ones indexed in the Scopus database in this case, is widely considered a valid bibliometric indicator [He et al., 2005] [Tsay, 2008] and a revealing measure of the impact of the scientific work [Martin and Irvine, 1983] [Moed et al., 1985] [Moed, 2005] [Vinkler, 1988] [Garfield and Welljams-Dorof, 1992]. The same approach will be used for all the remaining countries considered here.

The Activity Index (AI) was introduced originally by Frame [Frame, 1977] and it is defined by Hu [Hu and Rousseau, 2009] as a given country's share of its total article output across subject field(s) relative to the global share of articles in the same subject field(s). This approach allows to compare and analyse the scientific production of a country in a given field of knowledge, e.g. engineering, with other countries' output in the same field. This exercise can be applied to the production of scientific papers and it requires the classification of any of those in coherent groups according to the area of knowledge they refer to. The AI of country C in field F is defined as shown in equation 7.1.

$$AI(C, F) = \frac{\text{C's share of the world's publication output in field F}}{\text{C's share of the world's publication output in any field}} \quad (7.1)$$

It can be shown [Schubert and Braun, 1986] [Egghe and Rousseau, 2002] that AI can be written as shown in equation 7.2.

$$AI(C, F) = \frac{\text{F's share of C's publication output}}{\text{F's share of the world's publication output}} \quad (7.2)$$

Hu [Hu and Rousseau, 2009] aimed to identify relative strong and weak points of a given country's scientific research compared to world standards.  $AI=1$  indicates that the country's research effort in the given field F corresponds precisely to the world average. If for a given field a country's AI is larger than 1, this indicates that the country publishes more in the given field than world average (as measured through the database used).

It may be considered that, if  $AI > 1$  the country spends more energy and money to the given field than world average, or stated otherwise:  $AI > 1$  indicates a certain degree of specialization by this country in the particular field under study.

$$RS = AI(C, F) - 1 \quad (7.3)$$

The AI, as considered by authors as Schubert [Schubert et al., 1989] and Horta [Horta and Veloso, 2007] is a version of the economists' revealed comparative advantage index, and the relative specialization rate of country C in the field F, introduced by Glaenzel [Glaenzel, 2001], is calculated as shown in equation 7.3.

In order to perform a detailed analysis of the profile of Chinese research output in a way it is comparable to other scientific powers, a classification has been established based in eight general categories that including all fields of science, including life sciences, physical sciences, health sciences, social sciences and humanities. This classification does not aspire to be universal but to offer a coherent approach that can be used to perform a diachronic study of the evolution of the Chinese system in an international context -a common framework is therefore needed.

The purpose of such classification is to divide any further research and analysis in eight different analyses, so when an comparison among different countries is developed, it will be split into these categories, so the AI can be found for a given country, and compare to these of other nations. Such exercise will allow us to better understand the profile of Chinese science according to the distribution of its research output in these categories and to better compare its AI to these of other major scientific powers worldwide.

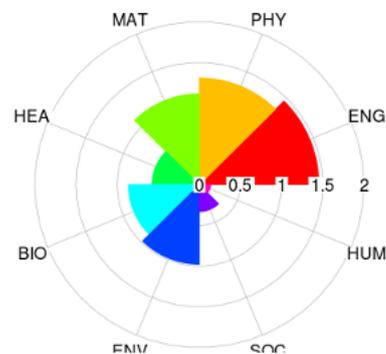
The eight general categories are established as follows:

1. Arts and humanities.
2. Biological sciences.
3. Engineering.

4. Environmental science.
5. Mathematics.
6. Medicine and health sciences.
7. Physical sciences.
8. Social sciences.

The activity index of a given country can be depicted using different sorts of graphs. We will introduce a polar plot which will be divided in eight sectors, one for each of the aforementioned areas of knowledge, and therefore the country's share of its total article output across subject field(s) relative to the global share of articles in the same subject field(s).

These polar plots will be used to compare and analyse the scientific production, in terms of the research papers, of a country in a given field of knowledge, e.g. engineering, with other countries' output in the same field, but also with the production of the same country in a different time period, making possible to perform a diachronic study of the emergence of China as a research power by analysing the evolution of its activity index and comparing it to those of other relevant countries.



**Figure 7.5:** Activity Index of the Chinese research system in 2014.

Figure 7.5 illustrates the concept of AI for China, using the data available for 2014. A relatively unbalanced distribution of the production of research papers among the different disciplines: the figures for Engineering, Physical Sciences and Mathematics are between 1 and 1.5, i.e. if China's scientific output is considered, the share of the research papers published with at least one Chinese co-author in these disciplines exceeds the world's average between 0% and 50%.

On the other hand, papers in the disciplines of Environmental Sciences are on the world's average, i.e. this measure of scientific output establishes the share of China's production on the world's average, while articles related to Biological Sciences are close to this figure. However, Humanities and Social Sciences are way below the world's average.

In summary, China's production is biased towards the disciplines showed in the upper right area of the plot, being Engineering the one that concentrates the highest output. The number of research papers in which a China-based scholar takes part will be found for each of the years in this period the result will be classified following the aforementioned categories, and a similar exercise will be performed for the most relevant scientific powers.

### **7.3 The Evolution of China's Research System**

As it was revealed in the previous section, data shows how the United States leads the world's production of scientific papers, with an output of nearly one fourth of the global output. Other major powers such as the

main European nations, together with East Asian countries such as Japan and Korea, and China as the most important emerging scientific power currently complete the top positions as the nations with the largest output.

It is worth noting that the concentration of scientific results has not changed much over a decade, except for the notable exception of China. The main powers in the world scientific arena (USA, Japan, and the main European nations) have maintained their position, but Korea and particularly China show a major increase as show in Figures 6.3 and 6.4.

China, which was only responsible for slightly above 3% of the world's publications in 2001, and climbed up to almost 11% only ten years after [Royal Society, 2011], is currently the only country approaching the leading position of the USA, with South Korea also increasing its role and major players such as Germany, the United Kingdom, France and Japan losing ground. So a global shift from a trans-Atlantic centre of scientific excellence to an East Asian emerging pole appears to be taking place in the last ten to fifteen years, even when Japan has slightly reduced its presence in international journals.

When measuring the scientific output of different countries in terms of articles published in international journals, we have considered any research paper which has been authored or co-authored by at least one scientist based in each of those countries, as the objective is to identify to which extend a the research community based in a given country is taking part of the world's research output.

Therefore, the approach to be followed consists in the analysis, year by year, of those articles having at least one Chinese co-author in the last two decades will allow us to obtain a grasp of the increase of China's

scientific production in terms of research papers. Because of the fact of co-authorship, this will not provide a figure to be used as an absolute indicator, but it will provide a quantitative measure of research output and its evolution, as the same search criteria have been applied for every single year, not only in the case of China but also for every single country studied.

Bibliometric methods such as the publication of research papers in international journals have been widely used to measure the scientific performance of countries, and recently the volume of data able to be processed in such analyses has escalated so a more complete profile can be built [Schubert et al., 1989] [Pouris, 1989] [Moed et al., 1985]. The value of the present approach lays in the fact that the analysis will be conducted along three different axes:

1. A time axis for the period from 1994 to 2014.
2. A specialization axis, as the results will be split in eight different areas of the human knowledge, i.e. Humanities, Social Sciences, Environmental Sciences, Biological Sciences, Health Sciences, Mathematics, Physical Sciences and Engineering.
3. A geographical axis, so the evolution of China as a emerging scientific power can be compared to those of other established East Asian nations, such as Korea and Japan, and also some of the main scientific powers both in North America (United States and Canada) and in Western Europe (Germany, United Kingdom, France and Spain).

### 7.3.1 Participation in International Research Journals

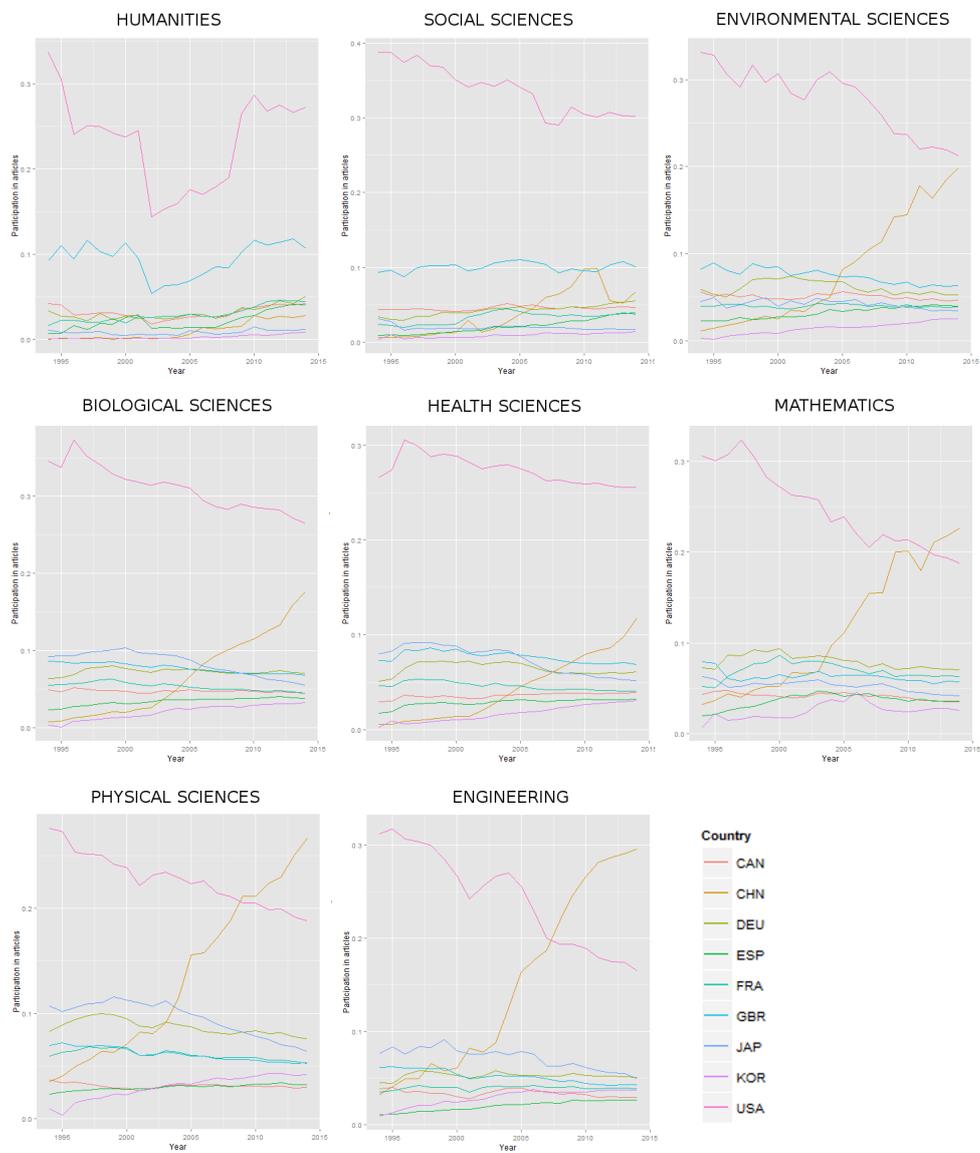
Figure 7.6 shows the diachronic evolution (yearly from 1994 to 2014) of the share of scientific papers registered in the Scopus database with at least one coauthor of each of the following countries: Canada (CAN), China (CHN), Germany (DEU), Spain (ESP), France (FRA), United Kingdom (GBR), Japan (JAP) Korea (KOR) and United States (USA)<sup>3</sup>, for each of the eight knowledge areas: Humanities, Social Sciences, Environmental Sciences, Biological Sciences, Health Sciences, Mathematics, Physical Sciences and Engineering.

When analysing the evolution of international scientific publishing in the last two decades, the main finding is the emergence of China. As it was found in previous sections, the analysis of data found on research databases suggest that while China has not reached the lead of the United States despite its growth, it has experienced an unprecedented evolution in terms of the absolute number of research papers published in international journals i.e. the USA published 190,597 scientific papers in 2001 (30.3% of the world's total output) and 212,394 in 2011 (25.7%) while China increased its production from 21,134 in 2001 (3.4%) to 89,894 (10.9%) in 2011, as shown in table 6.5

However, if we take into account the previously introduced classification of research fields, we obtain a view of the presence of China-based researchers and the level to which they are engaged in research up to international standards. Therefore, regarding the emergence of Chinese authors, three different cases can be singled out:

---

<sup>3</sup>The ISO-3166 alpha-3 standard for three-letter country codes is used here.



**Figure 7.6:** Evolution of the publication of scientific papers by country. Source: Scopus.

1. Areas where the research output of China in terms of presence of Chinese authors in scientific papers has only slightly increased over the course of the last two decades, and being its production far below that of the USA or even other major scientific powers. This is the case of the Humanities and the Social Sciences.
2. Areas where the research output of China in terms of presence of Chinese authors in scientific papers has increased significantly in the last two decades and where the last decade has witnessed what it is close to an exponential growth. This is the case of Biological Sciences and Health Sciences.
3. Areas where the research output of China in terms of presence of Chinese authors in scientific papers has already surpassed that of the USA or is about to do so. This is the case of Environmental Sciences, Mathematics, and particularly Physical Sciences and Engineering; the latter was forecasted by McGregor (2010) and others.

It is important to bear in mind that research databases such as the one used here are not exhaustive, and particularly in the case of the Humanities, as researchers in this field publish a relevant part of their findings as monographs instead of research papers. Numerous publications [Moed, 2005] [Van Raan, 2005] [CHERPA, 2010] have demonstrated that medicine and sciences are much better represented in bibliometric indicators than other areas such as engineering, social sciences and especially the humanities, as those indicators primarily cover publications, but not books and other media productions.

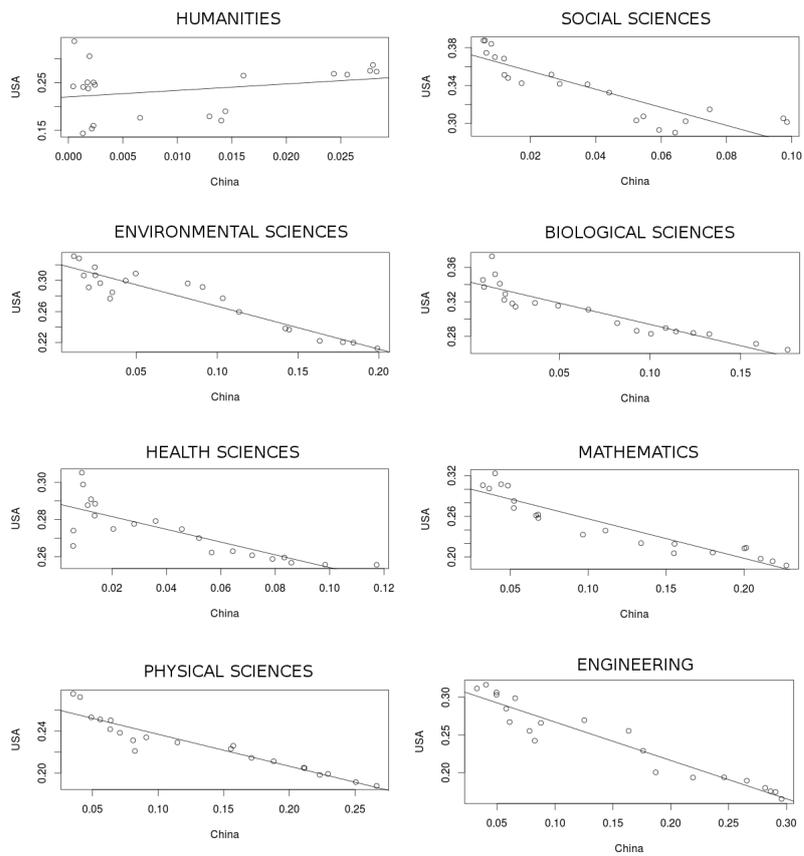
Therefore, the results shown in the previous lines cannot be understood as a comprehensive picture of all scientific production available worldwide,

but as a useful tool for a diachronic analysis that uses common variables for every country involved, and thus can be helpful to depict the particular characteristics of China's emergence as a scientific power over the last two decades.

The results shown in Figure 7.6 suggest that Chinese authors might be favouring areas such as Mathematics, Physical Sciences and Engineering, i.e. the presence of co-authors based in China might be proportionally higher in these areas of knowledge than in other disciplines.

The main finding here is a general trend that can be described as a certain alignment of the research production of these countries in terms of research papers, as the output main powers, e.g. the United Kingdom, Germany and Japan has been slightly decreasing over the years, while the production of emerging nations as Korea has is increasing steadily.

Actually, this can be related with previous findings: while Japan was responsible for 8.9% of the world's research papers in 2001 (56,082 articles), this figure decreased to 5.7% in 2011 (47,106 articles). A less notable decrease can be spotted in other research powers, such as the United Kingdom (from 7.2% share of the world's output in 2001 to 5.6% in 2011, even after a increase of the number of papers published yearly, which grew from 45,588 in 2001 to 46,035 in 2011) and Germany (from 6.8% share of the world's output in 2001 to 5.6% in 2011, even after a increase of the number of papers published yearly, which grew from 42,678 in 2001 to 46,529 in 2011). South Korea, in the other hand, increased its share from a mere 1.8% in 2001 (11,008 articles) to a more relevant 3.8% in 2011 (25,593 articles).



**Figure 7.7:** Correlation between Chinese- and American-coauthored papers.  
Source: Scopus.

### 7.3.2 Correlation Factors

The study of the correlation factors suggests that there is a strong relationship between the relative decrease in the production of the United States and the emergence of China, which would suggest that Chinese authors or teams where a Chinese scientist is present are increasing their presence in international journals at the expense of their American counterparts.

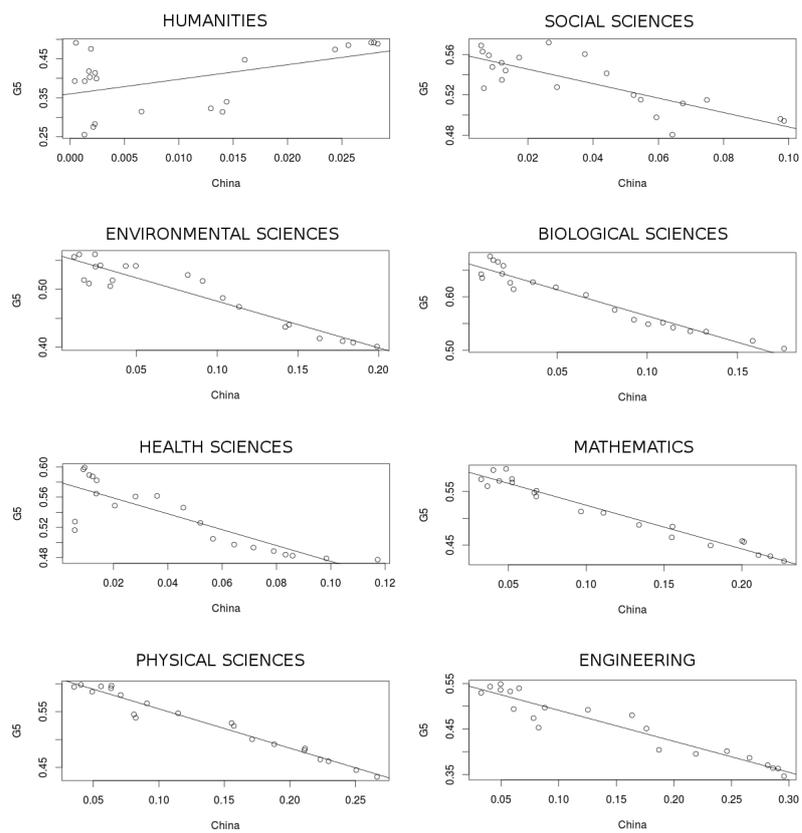
Figure 7.7 represents the correlation between the share of research papers in which at least one American author is present and the share of research papers co-authored by at least a China-based scholar, for each of the eight aforementioned areas of knowledge.

Except for the case of the Humanities, there is a strong correlation between the decrease of the former and the increase in the latter.

However, this phenomenon might not be limited to the appreciable relative decrease of the number of research papers produced by the United States, but also to those of other Western nations and Japan. Figure 7.8 illustrates the correlation between the increase of the Chinese production and the decrease of production of the main Western countries and Japan.

A similar situation can be spotted when the production of Chinese researchers is compared to that of five major scientific powers. These have been grouped together as G5 as the five more relevant scientific powers (France, Germany, Japan, the United Kingdom and the United States, shown as G5 in figure 7.8).

Once again, except for the case of the Humanities, the decrease in the share of the world's scientific papers produced by teams in which these



**Figure 7.8:** Correlation between Western- and American-coauthored papers.  
Source: Scopus.

countries are represented is correlated to a continuous increase in the publication by Chinese scientists.

Figures 7.7 and 7.8 illustrate a general trend in scientific publishing and provide evidence supporting the emergence of China as a major power in terms of the presence of its authors in research papers, in almost every discipline. However, even considering that those papers have been published in peer-reviewed journals, this can be considered a measure of quantity and not overall quality of the research output.

## **7.4 The Profile of China's Research System**

### **7.4.1 Evolution of China's Activity Index**

Figure 7.9 contains a series of polar graphics showing the activity index of China from 1994 to 2014, depicting the evolution of its research output by representing the relative weight of publications for each of the eight categories.

The value of 1 represents that the scientific output of a given country in terms of the presence of its authors in scientific papers of a given discipline is exactly on the world's average. A higher figure implies a above-average production and a lower figure suggests this discipline is under-represented in China's scientific production.

China is completing a transition from a research production which was heavily biased toward Mathematics, Physical Sciences and Engineering towards a more balanced mix of research results. In 1994 the weight of

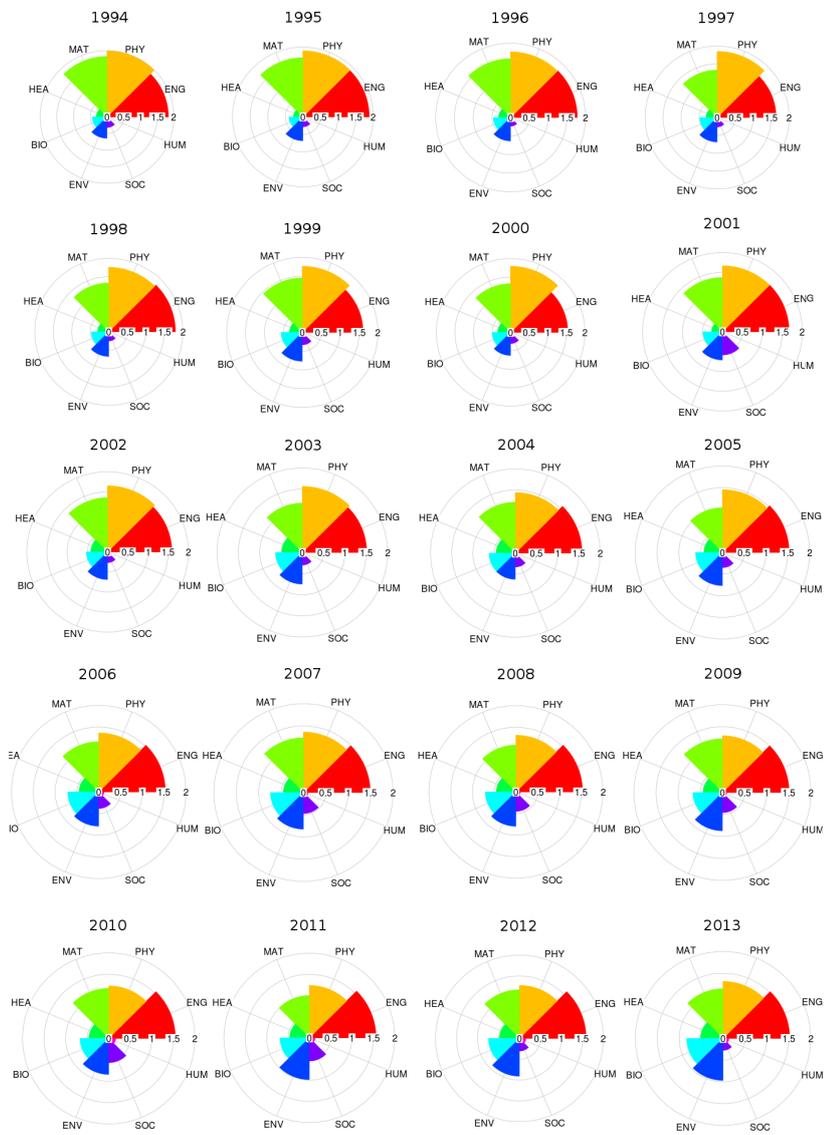
these three areas in China's research output was almost twice the world's average, while the results in any other discipline were under-represented.

The evolution of the Chinese system can be identified in the late 90s (in 1999 the three main areas are around 50% above the world's average, while Environmental Sciences and Biological Sciences are approaching this figure and Health Sciences is starting to develop) and the path towards a more balanced research mix would be reinforced in the early and mid 2000s, with the consolidation of Life Sciences and a stronger development of Social Sciences.

In 2011 the profile of the Chinese system differs widely from that of 1994. Seven of the eight disciplines are positioned between 0.5 and 1.5 in the activity index plot, i.e. there is not any discipline 50% over the world's average and both Mathematics and Environmental Sciences are exactly on that mark, while all disciplines except for the Humanities have reached at least 50% of the world's average.

That's exactly the opposite of the unbalanced 1994 graph, where only one discipline was in the 0.5 to 1.5 interval (three of them were above 1.5 and four more were below 0.5). Therefore 2011 can be denoted as the inflexion point where the results of the Chinese research system, start to show a certain balance of disciplines.

The graphs corresponding to the three following years suggest that this trend will be consolidated. Even when the growth in Social Sciences might be weak, in general terms we might expect a more balanced research mix, similar to those of established scientific powers.



**Figure 7.9:** Activity Index of the Chinese research system (1994-2013).

## 7.4.2 The International Context: World Activity Indexes

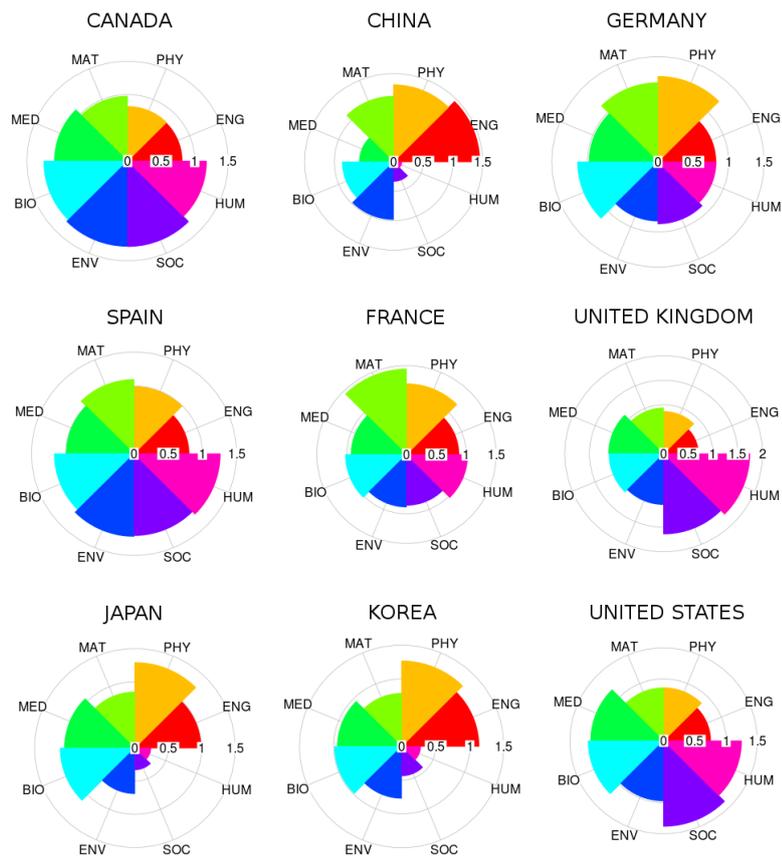
Figure 7.10 contains a series of polar graphics showing the activity index of the nine studied countries in 2014 so each of the plots corresponds to one single country and contains eight sectors that represents the relative weight of publications for each of the eight categories.

These graphics do not represent absolute values, i.e. the total amount of scientific papers published, but relative values, i.e. the relative weight of a given discipline in a given country's scientific mix. We have to consider that these plots represent countries with a very different level of scientific production (the USA, for instance, is responsible for nearly a quarter of the world's research papers, while the contribution of Spain is around 3%).

Established Western scientific powers (Canada, Germany, Spain, France, the United Kingdom and the United States) have a balanced distribution of their scientific output among the different disciplines, and the distribution of this output has not changed widely in the last two decades, except the case of some countries such as Spain and the United Kingdom in the area of the Humanities and to a lesser extent in the Social Sciences.

However, this should not be understood as a major shift in the scientific profile of these nations, as these are relative and not absolute data, and the share of scientific articles in the area of the Humanities is a fraction of those in the *hard* sciences.

Because of the peculiarities of the research in the field with a focus on monographs instead of scientific papers, this kind of scientific output is produced on a smaller scale and therefore the data in this area is not so



**Figure 7.10:** Activity Index of China compared to world scientific powers (2014).

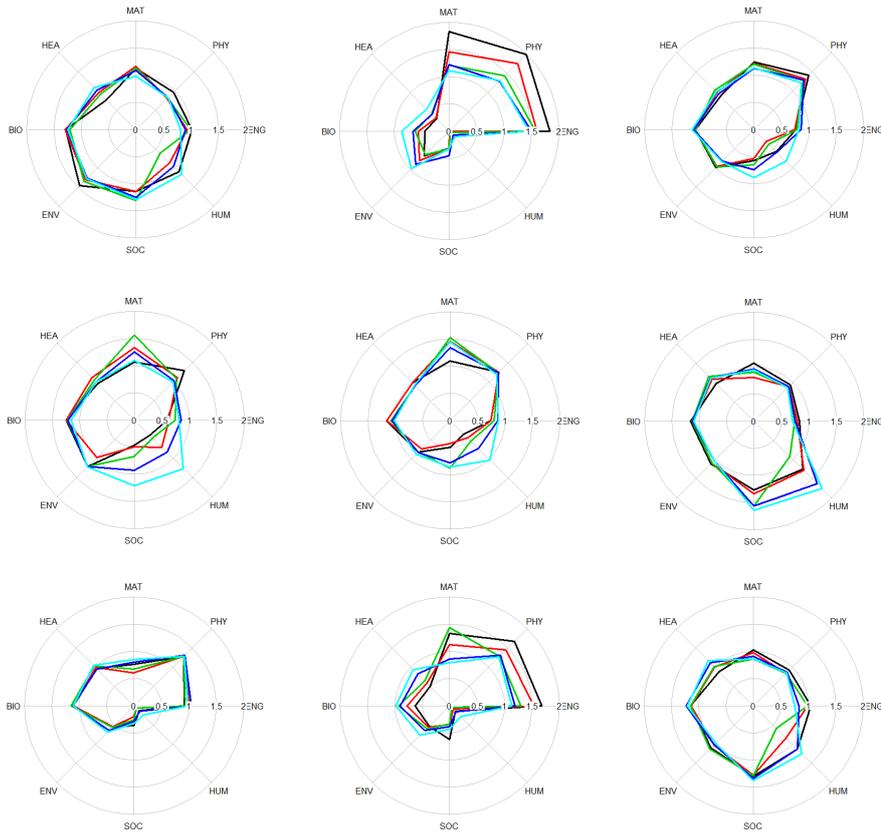
illustrative of a country's overall scientific output. It has been added to the mix, however, as it helps to illustrate the distribution of the scientific effort, particularly in the case of nations such as China, which has a strong focus on hard science.

Japan has also a very stable profile, with very little variation in twenty years. However, its profile is heavily biased towards the physical sciences, engineering, health sciences and biological sciences, with a less presence of research articles in the area of mathematics and environmental sciences and very little output in social sciences and the humanities. However, the slight variation that can be spotted in the case of Japan is precisely progressing towards a more balanced distribution of its research output, with a slightly increased presence of the under-represented disciplines in Japan's mix.

The two Asian emerging powers of Korea and China have similar, very skewed profiles. Both nations have a very strong presence in the areas of mathematics, physical sciences and engineering, while any other discipline is under-represented (below the value of 1). Actually the profiles of both nations are similar, even with Korea's is far more balanced than China's.

However, both show a similar evolution: in both cases the strong focus on mathematics, physical sciences and engineering has been reduced from relative figures above 1.5 (i.e. a 50% above the world's average) to figures close to 1 while on the other end the production in life sciences (biological and health sciences) and environmental sciences has been increased year after year towards the world's average, which is being reached in the case of Korea and approached in the case of China. In both cases, the social

sciences and the humanities are heavily under-represented.



**Figure 7.11:** Evolution of the Activity Index of China compared to those of world scientific powers.

While Korea's profile is that of a more mature scientific system, closer to the one of established Western nations, because of its head start with respect to China, the scale of the balancing process is very similar for both nations, with major increases in the periods 1994-1999 and 1999-2004, smaller increases afterwards, and a general trend toward increasing

the production of results in the area of life and environmental sciences.

## **7.5 Conclusions and Further Work**

The analysis of the evolution of international scientific publishing in the last two decades suggest that while China has not reached the position of the United States as world leader despite its growth, it has experienced an unprecedented evolution in terms of the absolute number of research papers published in international journals.

We have obtained a view of the presence of China-based researchers and the level to which they are engaged in research up to international standards. This is particularly useful when combined with a detailed analysis of the different disciplines to which these papers are related, so the evolution of the knowledge areas concentrating the higher share of the Chinese production can be studied over the years.

There is a strong correlation between the emergence of China and the decrease in the relative presence of established scientific powers such as the United States, Japan, Germany, France and the United Kingdom in the world's production of international peer-reviewed research papers. This is true for almost every single discipline, with the only exception of the Humanities.

The activity profile of Chinese research, understood as the share of the presence of China-based authors in the total output across subject field(s) relative to the global share of articles in the same subject field(s), has experienced a notable evolution in the last two decades, swiftly approaching

the world's average.

Currently, seven of the eight disciplines are positioned between 0.5 and 1.5 in the activity index plot, i.e. there is not any discipline 50% over the world's average and both Mathematics and Environmental Sciences are exactly on that mark, while all disciplines except for the Humanities have reached at least 50% of the world's average. Even when the growth in Social Sciences might be weak, in general terms we might expect a more balanced research mix, similar to those of established scientific powers. This evolution is similar to other emerging Asian economies such as South Korea, which had an earlier start in terms of the development of its science and technology system.

However, apart from the fact that some disciplines might be underfunded in China, authors such as Moed [Moed, 2005], Van Raan [Van Raan, 2005] and others [CHERPA, 2010] have demonstrated that medicine and sciences are much better represented in the number of scientific papers published in international journals, than other areas such as engineering, some of the social sciences and especially the humanities, as those indicators primarily cover publications, but not books and other media productions.

Therefore, these results cannot be understood as a comprehensive picture, but as very useful tool for a diachronic analysis that uses a standard variable for every country involved and for the whole studied period, and thus can be helpful to extract meaningful information on how China has built a scientific profile and on how this profile might be comparable to those of established nations, and to identify future trends to anticipate its evolution in the next decades.

In addition, these results supplement the findings of chapter 6, and rein-

force some of its main ideas, namely the swift evolution of the Chinese science and technology system, the emphasis on industrial disciplines, which can be linked to the strong focus on science and technology programmes, i.e. those linked to economic growth, technological development and national defense. We conclude, however, that the Chinese system is leaning towards a more balanced research mix.

Further work can be developed in this direction by analysing other bibliometric indicator such as international (triadic) patents, and by addressing internal differences in China, such as the geographical distribution of research outputs, and the role of top research institutions. A case study focused in a frontier discipline, such as nanoscience and nanotechnology, would help to illustrate the nature of the Chinese system and its inner dynamics.

## **Chapter 8**

# **NANOTECHNOLOGY: A KEY AREA IN CHINA'S RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM**

### **8.1 Introduction and Objectives**

#### **8.1.1 Defining Nanotechnology**

In his 1959 talk «*There is plenty of room at the bottom*», physicist Richard Feynman considered the possibility of direct manipulation of individual atoms. This is now considered the first conceptual reference to nanotechnology, even when the term was first used in 1974 by Norio Taniguchi

[Taniguchi and Others, 1974] and first introduced in a research paper by the engineer Eric Drexler in 1981 [Drexler, 1981]. The emergence of nanotechnology in the 1980s was caused by the convergence of experimental advances such as the invention of the scanning tunneling microscope in 1981 and the discovery of fullerenes in 1985.

According to a broad definition provided by the U.S. National Nanotechnology Initiative, nanotechnology is «the understanding and control of matter at the nano-scale, at dimensions between approximately 1 and 100 nanometers, where unique phenomena enable novel applications. Encompassing nanoscale science, engineering, and technology, nanotechnology involves imaging, measuring, modeling, and manipulating matter at this length scale» [NNI, 2012].

The lower limit (one nanometer is a billionth of a meter) is set by the size of atoms (hydrogen has the smallest atoms, which are approximately a quarter of a nanometer diameter) since nanotechnology must build its devices from atoms and molecules. The upper limit is around the size that phenomena not observed in larger structures (quantum mechanical and other effects) start to become apparent and can be made use of in the nano device. It is common to see the plural form nanotechnologies as well as nanoscale technologies to refer to the broad range of research and applications whose common trait is size.

Nanotech is not merely about size, it is about the unique physical, chemical, biological and optical properties that emerge naturally at the nanoscale and the ability to manipulate and engineer such effects. Regarding initial bibliometric evidence, Porter [Porter and Cunningham, 1997] analysed the content present in the SCI, for the early period of nanotechno-

logy research (1986-1995), when China among other nations started the first science funding programmes. They concluded that, at that time, nanotechnology coverage was less applied and more oriented towards fundamental research, even when back then the term nanotechnology itself was seldom used. According to their results, nanotechnology research was closely related to life sciences and particularly to bio and organic chemistry.

Nanotechnology it is a very broad new area of science, involving physics, chemistry, biology, cognitive science, materials science, and engineering at the nanoscale, with a very wide variety of potential applications:

«Notable recent developments include organically growing nanoenabled solar cells in the form of wallpaper or as paint; silicon nanoparticles covered with a layer of gold and used in combination with infrared light to destroy cancerous tumors; silicon coated nanowires that form a highly efficient paper-like sponge to separate oil from water after, for instance, an oil spill; and nano-products that help to purify, desalinate and disinfect water, or store energy more efficiently».

*R. Falkner and N. Jaspers on the regulation of nanotechnology* [Falkner and Jaspers, 2012].

Because of its potential applications, in 2005 nanotechnology was one of the three platform technologies identified by United Nations as a gateway to reduce hunger, promote health, improve water quality, develop new renewable resources and improve the environment. The UN Task Force on Science, Technology and Innovation recommended that developing countries create nanotech programs, such as the NNI, established in

the United States in 2001 [Juma and Yee-Cheong, 2005]. Between 2001 and 2014, over sixty countries have followed the USA and established nanotechnology initiatives [Clunan and Rodine-Hardy, 2014].

### **8.1.2 Measuring Nanotechnology Research**

Nanotechnology is a very complex and highly interdisciplinary area, as it requires a strong base in several traditional disciplines. Creating competency in nanotechnology research requires a world-class research activity in different disciplines, including natural and engineering sciences [Kanama and Kondo, 2007], which has been prioritized in China in the last two decades, as it was found in previous chapters. This study will consider whether China's strength in Physical Sciences and Engineering is matched by significant scientific output in nanotechnology research.

This document will consider bibliometric indicators such as patents and scientific papers, but also other factors will be considered, such as the development of standards and product and process innovation. These variables will provide information to evaluate the Chinese nanotechnology effort as an example of the evolution of China's innovation system and the application of science plans, as nanotechnology has been part of China's national plans since the mid-1980s, when the NSFC and the CAS started supporting research on the nanoscale.

The emergence of Chinese nanotechnology will be considered using data from the SCI on research papers, and particularly how China's production of scientific articles has increased over the last two decades, which is a measure of the quantity of China's research output, and to which ex-

tent these papers have attracted citations, which in turn provides a view of the reception of papers in the international scientific community, i.e. a measure of the quality of China's research output [Glaenzel, 2008]. Additionally, examining the papers in top 1% cited articles, i.e. the articles that are remarkably above the world average citation papers, it will be considered if the emergence of China as a major player in the area, or whether it is still lagging behind the USA and the European Union in attracting citations.

Finding how some R&D results are distributed in China's provincial structure will help to further extend our knowledge of the inner structure of China's science and technology system. Chapters ?? and 7 already found that available funding and research outputs are unevenly distributed in the Chinese science ecosystem. We will now introduce the concept of innovation hubs and consider the existence and extent of those in China and other countries by examining patent data, and explore how the distribution of these hubs have changed over the years.

Finally, we will take into account how China has engaged in integrating its nanotechnology research and development with the global market and R&D platform, through developing international and national standards on nanotechnology, and the presence of Chinese-developed products in international databases.

## 8.2 Nanotechnology in China's Science Plans

After the founding of the PRC, China developed a centralized state planning system for science and technology which was inspired by the Soviet system. The central state of the PRC established priority areas of research that could increase the international status of the country, its economic development or political goals. Resources in the form of human capital, funding and support were then devoted to achieve breakthroughs in these areas.

The introduction of market reforms in the R&D system in the 1980s and 1990s reduced the role of the central state in science planning. However, a top-down approach is still present in the national science plans and in the establishment and development of a number of science and technology development programmes to stimulate the development of advanced technologies in a wide range of fields. This is precisely the case of nanotechnology, in which China is pioneering to set up a top-down system of steering and coordinating its development at the national level [Hu, 2012]. In the current MLP (2006-2020), the «breakthroughs in the study of nanotechnology» are listed as one of the four important scientific research plans in basic research [State Council, 2006], and China has focused significant governmental efforts on developing its capabilities in nanotechnology [Appelbaum and Parker, 2008] [Shapira and Wang, 2009].

We have to bear in mind that nanotechnology is currently at an early phase of its development, with most applications still at the concept stage, requiring much more basic research before they can be incorporated into a viable product [Bhattacharya et al., 2012]. Therefore, nanotechnology

requires strong public investment as the barriers to entry are very high, and technology requires skilled manpower and sophisticated capital instruments with an uncertain return, so firms are still reluctant to invest and devote R&D funds in this sector.

Nanotechnology has been part of China's national plans since the mid-1980s, when the National Natural Science Foundation of China and the Chinese Academy of Sciences started supporting research on the nanoscale. In 1986, the National High-Tech Research and Development Program (known as the 863 Program) was implemented by the then SSTC, the predecessor of the current MOST, singling out research on the application of nanomaterials as one priority area, with an initial funding of RMB 370 million (€52 million).

The 863 Program was then implemented through successive Five-Year Plans, and from 1990 to 2002, the Program funded over one thousand nanotechnology projects with total funding support of €24 million. In 1990, the «Climbing Up» Project on nanomaterial science was initiated to support further research on nanomaterials, adhering to the goal of the 863 Program [Clunan and Rodine-Hardy, 2014].

In order to promote fundamental research, whose funding has been historically low in China, the SSTC established in 1997 the National Basic Research and Development Program (known as the 973 Program) further concentrating support for the development of nanomaterials and nanostructures. The 973 Program complemented the 863 Program in research investment, and enhanced the standardization of nanotechnology research [Bai, 2005]. Nanotechnology was also included in innovation plans, and particularly in the KIP, piloted by the CAS and initiated in

1997 to promote innovation and technology transfer. The Program gave nanotechnology priority in high-tech development and technology transfer, consolidated the 120 institutes affiliated with the CAS and mapped out plans for the incubation of high-tech startup companies by those institutes [Wang and Tang, 2009] [Clunan and Rodine-Hardy, 2014].

In 2000, shortly after the NNI was officially launched in the United States, China established the National Steering Committee of Nanoscience and Nanotechnology (NSCNN), a public body aimed at overseeing national policies and coordinating funding for all R&D funding organizations, following the Chinese traditional top-down approach for science planning. The NSCNN has representation from the most important organizations involved in research policy, including government officials from the MOST, the CAS, the NSFC, the MOE, the NDRC, the CAE, and the COSTIND. Figure 5.2 depicts the relationships between these bodies<sup>1</sup>.

The establishment and the composition of the NSCNN illustrates how the development and application of nanotechnology is of strategic significance to the development of high technology and understood as a way to develop the national economy in China. In 2001, shortly after being established, the NSCNN drafted the National Nanotechnology Development Strategy (2001-2010), the first of its kind in China, resembling similar initiatives as the NNI in the United States [Ramani, 2014]. This document is a blueprint for the development of nanotechnology in China.

The Chinese National Nanotechnology Development Strategy calls for technological breakthroughs in «*nanomaterials production and fabrica-*

---

<sup>1</sup>COSTIND was renamed State Administration for Science, Technology and Industry for National Defense (SASTIND) in 2008.

*tion, construction and integration of nanoscale devices, nanofabrication technologies, nano-scale structural analysis and performance testing techniques, and indigenous innovation in nanomaterials production devices»* [?] and aspires to do so by increasing public funding support for nanotechnology development, appropriating intellectual property from R&D and building a national nanotechnology system which allows the commercialization of research results. The 10th Five-Year Plan also set goals for the short-term, e.g. such as development of nanomaterials, the medium-term, e.g. such as development of bio-nanotechnology and nanomedical technology and the and long-term, e.g. development of nano-electronics and nanochips [Clunan and Rodine-Hardy, 2014].

More recent government policies have also focused on leapfrogging the technology gap in key areas of research and building a system of innovation. MOST established the Nanotechnology Industrialization Base of China (NIBC) in the municipality of Tianjin in 2000, with support from the CAS to serve as the principal incubator for nanotechnology research spin-off companies.

In 2005, MOST, CAS and the local Tianjin Municipality Government jointly established the China National Academy of Nanotechnology & Engineering (CNANE) within the same facility of NIBC, focusing on R&D development and fostering synergies between R&D and commercialization. In the 11th Five-Year Plan (2006-2010) the central government placed further strong emphasis on innovation, including «*industrializing the technology for 90-nanometer and smaller integrated circuits*» and developing «*new materials badly needed in information, biological and aerospace industries*» [Jarvis and Richmond, 2013].

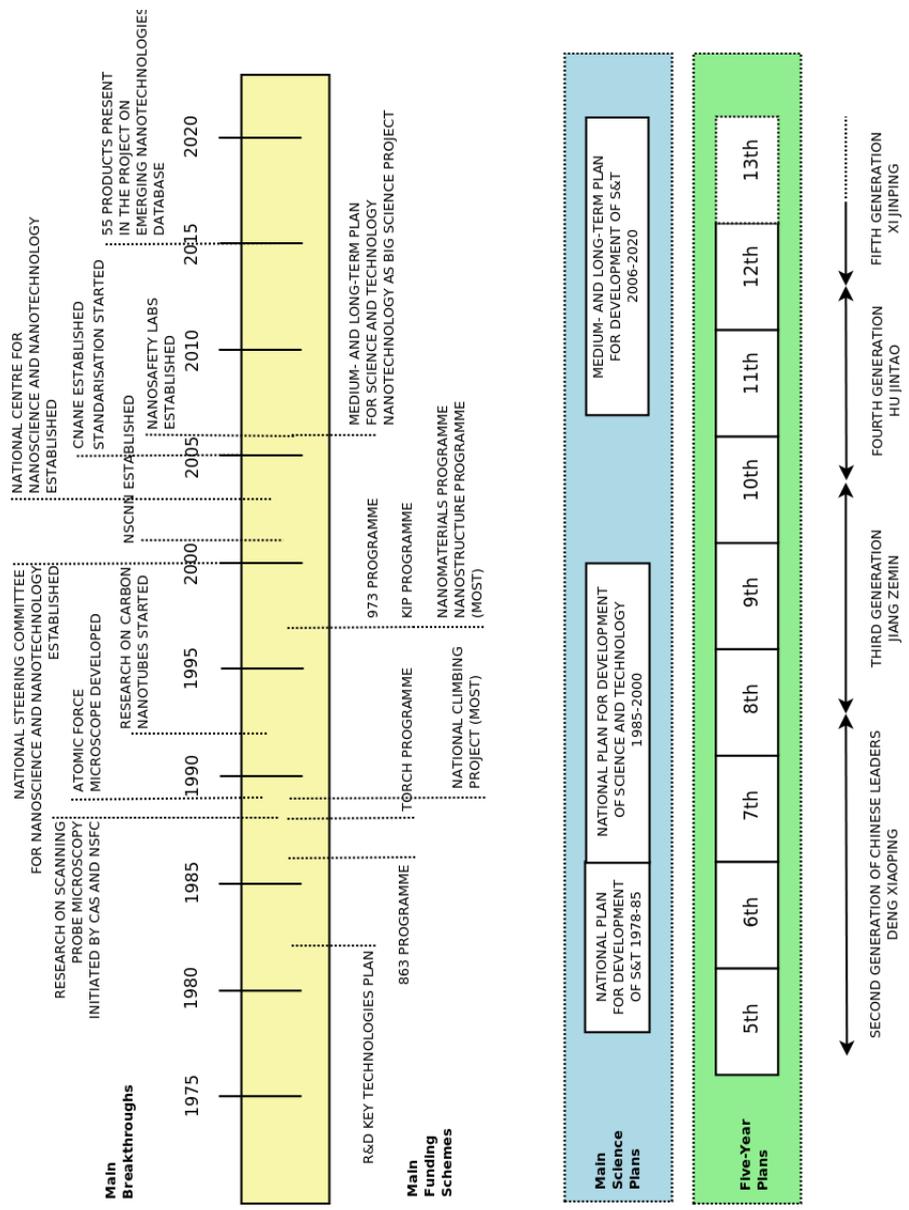


Figure 8.1: Timeline of nanotechnology research in China.

The overall investment surpassed RMB 1.5 billion (€212 million) for the period 2001-2005 and RMB 5 billion (€707 million) for the period 2006-2010 [Bhattacharya et al., 2012]. This funding led to the development of sophisticated instruments, such as atomic force microscopes (AFM) and scanning tunnel microscopes (STM), used to foster nanotechnology research projects, such as nanomaterial characterization. Between 2007 and 2009, Chinese governmental spending on nanotechnology R&D was estimated to be comparable (on a Purchasing Power Parity basis) to that of US federal government [Cientifica, 2009].

Figure 8.1 depicts the timeline of nanotechnology research in China.

### **8.3 The Emergence of Chinese Nanotechnology**

A few studies have approached the production of nanotechnology research papers. The study of the available data in the SCI from 1900 to 2006 suggest that starting in 2000, the US started to extend their dominance over Europe. Miyazakia [Miyazakia and Islam, 2007] considers that the massive investment by the US though its NNI is the main reason for this remarkable publication growth. Japan, on the contrary, was losing ground in Asia in comparison to other countries, and according to this study, China is the country showing significant growth in this area.

This results have been confirmed in other studies. Kostoff [Kostoff, 2007] ses also research publication activity data registered in SCI to analyse the period 1991-2005. While stating the dominance of the USA, they found that its share of the world's publications in nanotechnology and

nanoscience have been declining over this time period, from 36% to 23%. In a similar fashion, Miyazakia [Miyazakia and Islam, 2007] found that Japan is losing the leading position in Asia (its share of the world's publications in the area was reduced from 16.5% to 12.5%), while the countries that were not prolific at the beginning of the 1990s grew rapidly over the course of the decade.

South Korea, and particularly China, published about forty times more research articles in 2005 than fifteen years before [Kostoff, 2007], and its cumulative publication count increased by more than 300% in just five years, from 2001 to 2006 [Porter et al., 2007]. For the case of China, Zhou [Zhou and Leydesdorff, 2006] also found similar results for China's publication performance. Huang [Huang, 2010] found that China was the country with the most significant increase in nanotechnology research papers in the period 1998-2010, with an average growth rate of 97%. Articles published by Chinese authors received less citations than those by their Western peers, except for those written in collaboration with Western academics, which benefited from the *international collaboration dividend*, as coined by Tyfeld [Tyfeld et al., 2009]. However, citation quality of Chinese nanotechnology publications is rising [Youtie et al., 2008].

China has not only increased its share of the world's publications in the area of nanotechnology, but it has also assumed a more central role in the international scientific arena. In the 2000s Chinese engineers and scientists have increased their centrality in scientific publishing. According to Kostoff [Kostoff, 2007], as early as 2003, of the twenty most prolific authors in nanotechnology, nineteen were found having Chinese surnames, along with half of all first authors.

Even when some of these were citizens or permanent residents of countries other than China, and many were graduate students or post-docs studying in the United States, Europe and Japan, or the United States, this study reflects the importance of the Chinese diaspora, which has been increasingly taken into account in China's scientific plans.

Similar results have been found when studying the diachronic evolution of the number of nanotechnology patents filed in both national and international offices. Regarding the former, Dang [Dang, 2009] analysed nanotechnology patent applications during the period 1991-2008 in a comprehensive study that included 15 national patent offices covering 98% of the global activity, including the SIPO, China's national patent office.

SIPO ranked second, only after the patent office of the USA, receiving 18,438 applications for the period 2001-2008, for 19,665 received in the USA. As it happened for research papers, Japan is lagging behind. Its national patent office received a total of 10,763 patent applications for the studied period.

A significant change in China's nanotechnology patenting activity can be identified when data from the early 2000s is compared with data available ten years after. In 2000, SIPO received only 105 applications, whereas in 2008 it received 5,030 applications, ranking first. A total of 3,729 patents were filed in the patent office of the USA that same year. Preschitshek [Preschitshek and Besser, 2010] offers a detailed view of the patenting activity by analysing activity in the patent offices of the US, Japan, Germany and China for the period of 2000-2007.

Since 2005, China's total patents exceeded those of Japan and the United States, originally the technological leaders in nanotechnology. The study

showed also that China holds a considerable higher amount of patents within the field of nanotechnology compared to Germany. China's high growth rate, an annual average growth rate of 34%, suggests that China will play a key role within the nanotechnology sector during the next years.

However, Chinese activity is strongly concentrated inside its national borders. China's international patenting activity is only 4%, while the USA has 20% of its activity internationally. While this is one of the main drawbacks of China's activity, China has already started to promote international patenting, and it is very active in filing in South Korea, ranking third with in that office according to Dang [Dang, 2009].

The strong progress of China's international patenting activity is confirmed by Liu [Liu, 2009], whose study approaches the trends for nanotechnology development in China, Russia and India by categorizing the nanotechnology domain in three major sub-topics -nanomaterials, nano-devices and measurement and characterization- and considering the patents filed in the US office by these countries in the period 2000-2007.

The emergence of China's international patenting activity can be also spotted in the Worldwide Patent Statistical Database (WPSD) of the EPO. Only Korea and China were the other countries apart from USA, Japan and EU-27 showing significant growth in the last few years in the nano-related patent applications [Brand, 2010].

## **8.4 Chinese Nanotechnology Research Outputs**

### **8.4.1 Publications**

In 2000, the USA was responsible for 27% of all nanotechnology papers, while Japan accounted for 14.5% of the publications and China came third with 9.8% of the papers [Bhattacharya et al., 2012]. Only nine years later, China had emerged as the one of the global leaders in development of nanotechnology. China has ranked only second to the U.S. in nanotechnology investment [Shapira and Wang, 2009] and surpassed the USA in terms of publication of research papers.

The Chinese overall publication aggregate from 2000 to 2009 is 62,782 papers in nanotechnology (16.4% of the world's total figure) but the rate of growth of the Chinese research output is even more remarkable: taking 2000 as a base year, the growth reaches 334% in 2005 and 929% in 2009 [Bhattacharya et al., 2012]. However, China still lags behind the United States and leading European countries in measures of research quality. Considering that the measurement of paper citation provides a view of the reception of papers in the international scientific community [Glaenzel, 2008], Citations received by Chinese papers did not grow alongside the number of published papers. Citations grew from 34,233 in 2000 to 78,843 in 2009, i.e. by 130%. However, the average number of citations received by each paper in the year of publications doubled from 0.2 to 0.4. 23% of papers remained uncited.

Examining the papers that were above the world average citation papers, i.e. the papers in top 1% cited articles, the emergence of China as a major

player in the area of nanotechnology is easily spotted. In 2000, was the fourth largest producer of papers with 1,314 documents but just 3 of them were in the top 1%. The USA produced 3,344 papers but 68 of them were in the top 1%. In 2009, China was already the world's top produced of nanotechnology papers: the number of research articles produced by China was 14,329 (above the 13,533 published by the USA), and 132 were in the top 1% (still below, but close to the 257 top 1% papers of the USA) [Bhattacharya et al., 2012].

While nanotechnology is still exhibiting the same broad trend highlighted by Madhan [Madhan et al., 2010b]: in spite of Chinese researchers increasingly publishing in high quality journals, it is still lagging behind the USA and the European Union in attracting citations. It is important to remark that language is not the reason for low citation in this case, as above 90% of papers by Chinese researchers in journals covered by these databases are in English [Bhattacharya et al., 2012].

Chapter 7 showed how Chinese researchers have a very strong presence in the areas of mathematics, physical sciences and engineering, while their relative performance is less impressive in other areas. However, the strong focus on mathematics, physical sciences and engineering has been reduced from relative figures of around 50% above the world's average to figures closer to the world's average, while on the other end the production in life sciences, e.g. biological sciences and health sciences, and environmental sciences has been increased year after year towards the world's average. Social sciences and the humanities are heavily under-represented.

In this context, where the Chinese research mix is changing towards a

more balanced profile, nanotechnology provides a good example of such a process. Nanotechnology is indeed a complex, highly interdisciplinary area, as it emerges out of the strong intersection of different traditional disciplines. That's why for a country to create competency in nanotechnology research is to an extent contingent upon its overall research activity in different disciplines of natural and engineering sciences, as considered by Kanama [Kanama and Kondo, 2007]. Also a country's research strength should find reflection in areas within nanotechnology research.

According to Bhattacharya [Bhattacharya et al., 2012] the subjects primarily addressed by Chinese nanotechnology papers in the 2000s were Material Science, Applied Physics, Multidisciplinary Chemistry, Condensed Matter, Polymer Science, Metallurgy and Metallurgical Engineering, Multidisciplinary Physics, Analytical Chemistry, Physical Chemistry, Electrochemistry. These are strongly related to disciplines where China has a strong presence in this period, e.g. Electrical Engineering and Electronics (121,234 papers, 12% of its total output) and Material Science (107,075, 10% of its total output). Other areas where China was very active were Multidisciplinary Chemistry (50,873 papers), Applied Physics (48,972 papers), Optics (45,814 papers) and Physical Chemistry (46,530 papers).

Thus it appears that China is being able to translate its strength in Physical Sciences and Engineering in addressing nanotechnology research. China has for instance produced the maximum research papers in three areas within nanotechnology, namely polymer science, electrochemistry, and metallurgy and metallurgical engineering. Nanotechnology as a interdisciplinary field can be a very promising area to measure the performance of China as an science power and to evaluate to which extent its research is

|                | 2012  |       | 1994  |       | 1994-2012 |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
|                | Total | Share | Total | Share | Total     | Share |
| United States  | 544   | 34.5% | 95    | 47.9% | 10,678    | 41.1% |
| Japan          | 294   | 18.6% | 10    | 5.1%  | 5,154     | 19.9% |
| South Korea    | 127   | 8.0%  | 0     | 0.0%  | 1,245     | 4.8%  |
| Germany        | 82    | 5.2%  | 22    | 11.1% | 2,100     | 8.1%  |
| China          | 72    | 4.6%  | 0     | 0.0%  | 446       | 1.7%  |
| United Kingdom | 56    | 3.5%  | 11    | 5.6%  | 948       | 3.6%  |
| World Total    | 1,579 | 100%  | 198   | 100%  | 25,938    | 100%  |

**Table 8.1:** Nanotechnology triadic patents.

advancing towards a more balanced, multidisciplinary mix, where hybrid, complex technologies have a growing relevance.

## 8.4.2 Patents

The OECD [OECD, 2016] offers comprehensive information on triadic patents, including those related to some specific sectors, such as nanotechnology. From 1994 until 2012 (latest data available), and considering the address of the inventors as the variable to identify the origin of the applications, Chinese researchers had applied for a total of 446 patents, showing a notable improvement from no applications in 1994 to 72 in 2012, as shown in table 8.1<sup>2</sup>.

In the case of Western economies, the United States is the world leader in the field, with a total of 10,678 patents, 95 of those (almost one half of the

<sup>2</sup>Total country number has been rounded to the nearest integer. Source: OECD.

world's total production) in 1994 and 544 (over a third of the world's total production) in 2012. Germany has applied for a total of 2100 patents, 22 of those in 1994 and 82 in 2012. The United Kingdom applied for a total of 948 patents, increasing its number fivefold, from 11 in 1994 to 56 in 2012.

In the case of East Asian economies, Japan appears as the regional leader and it has been applied to a total of 5,154 patents, increasing its numbers from 10 in 1994 to 294 in 2012. Korea applied for a total of 1,245 patents in this period. Despite not applying for a single patent in 1994, in 2012 surpassed the main European science powers and applied for a total of 127 nanotechnology patents.

In terms of general triadic patents distribution, while the share of the world leaders, the USA and Japan, has decreased, each of them produces almost a third of the world's international patent applications. This is not the case in nanotechnology patents -whereas the USA exceeds this proportion (its share is currently 34.5%), Japan produces only 8% of the triadic patent applications related to nanotechnology. In the case of Germany, it is responsible for around one tenth of the world's triadic patent applications, but only it produces only slightly above 5% when only nanotechnology patents are considered.

The opposite is true for China. Despite a very important growth in the number of triadic patents obtained by Chinese inventors in the last decades, the share of the world's nanotechnology triadic patent applications produced by China is still very small, around 4.5% (China surpasses 10% in overall triadic patent application). Other countries, such as the United Kingdom and South Korea, present very similar figures for both the over-

|                | 1994    |      | 2012    |      |
|----------------|---------|------|---------|------|
|                | Patents | NI   | Patents | NI   |
| United States  | 95      | 1.13 | 544     | 1.29 |
| Japan          | 10      | 0.83 | 294     | 0.84 |
| South Korea    | 0       | 0.00 | 1,271   | 1.39 |
| Germany        | 22      | 0.85 | 82      | 0.57 |
| China          | 0       | 0.00 | 72      | 0.45 |
| United Kingdom | 11      | 0.69 | 56      | 1.20 |
| World          | 198     | 1.00 | 1,579   | 1.00 |

**Table 8.2:** Nanotechnology Indexes.

all number of patents and those related to nanotechnology.

In order to quantify this situation, using the data of international patent application provided by OECD, we can define the Nanotechnology Index (NI) of a country  $C$  as the share of the world's nanotechnology patent applications produced by  $C$  divided by the share of the world's overall international patent applications produced by  $C$  in the same period of time. Therefore, NI expresses the relative importance of nanotechnology in  $C$ 's patent portfolio, as shown in equation 7.4.

$$NI(C) = \frac{\text{C's share of nanotechnology triadic applications}}{\text{C's share of the triadic applications}} \quad (8.1)$$

Table 8.2 shows now China's NI has increased from 0 to 0.45 in the pe-

| Regional Hub  | Country | National Share |
|---------------|---------|----------------|
| Osaka         | JPN     | 19.61%         |
| Kanagawa      | JPN     | 17.97%         |
| Suffolk       | GBR     | 17.78%         |
| Tokyo         | JPN     | 15.52%         |
| Berlin        | DEU     | 15.24%         |
| Aachen        | DEU     | 13.75%         |
| Boston Area   | USA     | 12.34%         |
| München       | DEU     | 12.27%         |
| New York Area | USA     | 11.57%         |
| Starkenbourg  | DEU     | 11.15%         |

**Table 8.3:** Nanotechnology innovation hubs in 1994

riod 1994-2012, and it's actually close to the Germany's 0.57, but still lagging behind other industrial economies with a strong nanotechnology knowledge base.

### 8.4.3 Regional Innovation Hubs

Tang [Tang and Shapira, 2011] analyzed nanotechnology research papers (1990-2006) and found that the dramatic international rise of China's position in nanotechnology has been underwritten by the emergence of a series of regional hubs of nanotechnology R&D activity, led by Beijing and Shanghai.

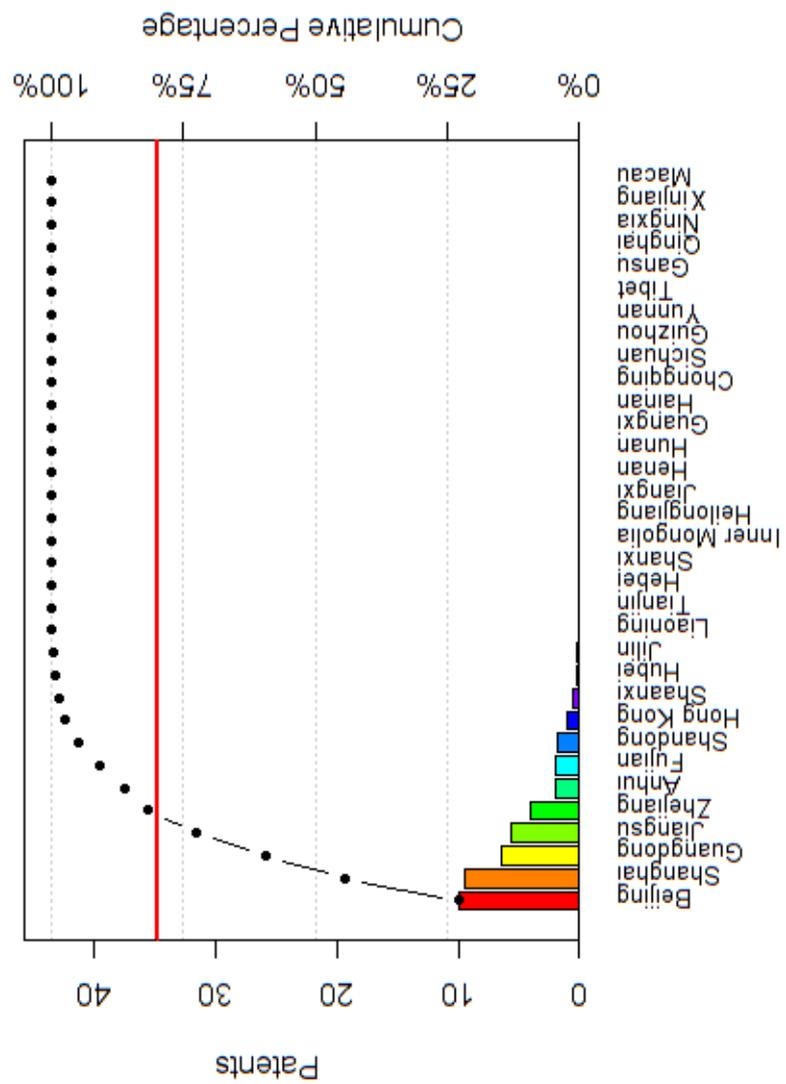


Figure 8.2: Distribution of Chinese nanotechnology triadic patents.

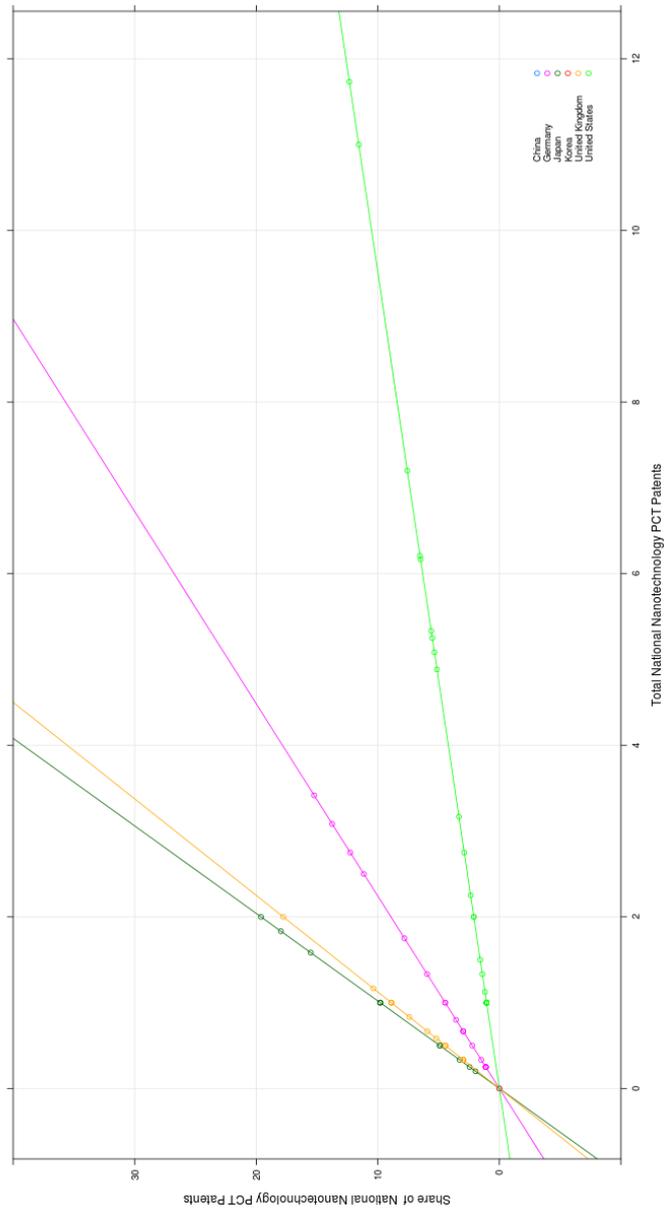
Motoyama [Motoyama et al., 2014] considered patents filed at the SIPO (1986-2008) and confirmed the two leading regions dominating nanotechnology, revealing high geographic concentration of results. We will now consider the case of nanotechnology international patents applied by Chinese inventors. Triadic patent statistics can be used to obtain a deeper knowledge of China's research and innovation system up to international standards, by analysing the provincial distribution of research outputs. These can be also compared to those of other scientific powers. The detailed study of patent databases also allows us to better understand the inner structure of China's innovation system, and helps us to identify a series of provincial «innovation hubs», i.e. areas with a strong nanotechnology innovation component. Considering that these areas are particularly relevant in the case of China's innovation, as shown before, locating these hubs provides an insight into China's research and development system.

If the origin of Chinese nanotechnology triadic patent applications, i.e. the province where the inventor is based, is considered, we find that the distribution is very uneven. The sum of the patents applied by inventors in just four regional entities: the municipalities of Beijing and Shanghai together with the provinces of Guangdong, including the city of Shenzhen<sup>3</sup>, and Jiangsu surpass 70% of all Chinese applications. On the other hand, almost 30 regional entities have a combined output that does not reach 30% of the national production, as shown in figure 8.2.

We can consider that there are a few «nanotechnology innovation hubs», i.e. provincial or municipal entities whose residents are responsible for

---

<sup>3</sup>The city of Shenzhen belongs to the province of Guangdong. It appears by itself in the plot as it is listed as such in the official statistics.



**Figure 8.3:** Nanotechnology triadic patents by regions in 1994.

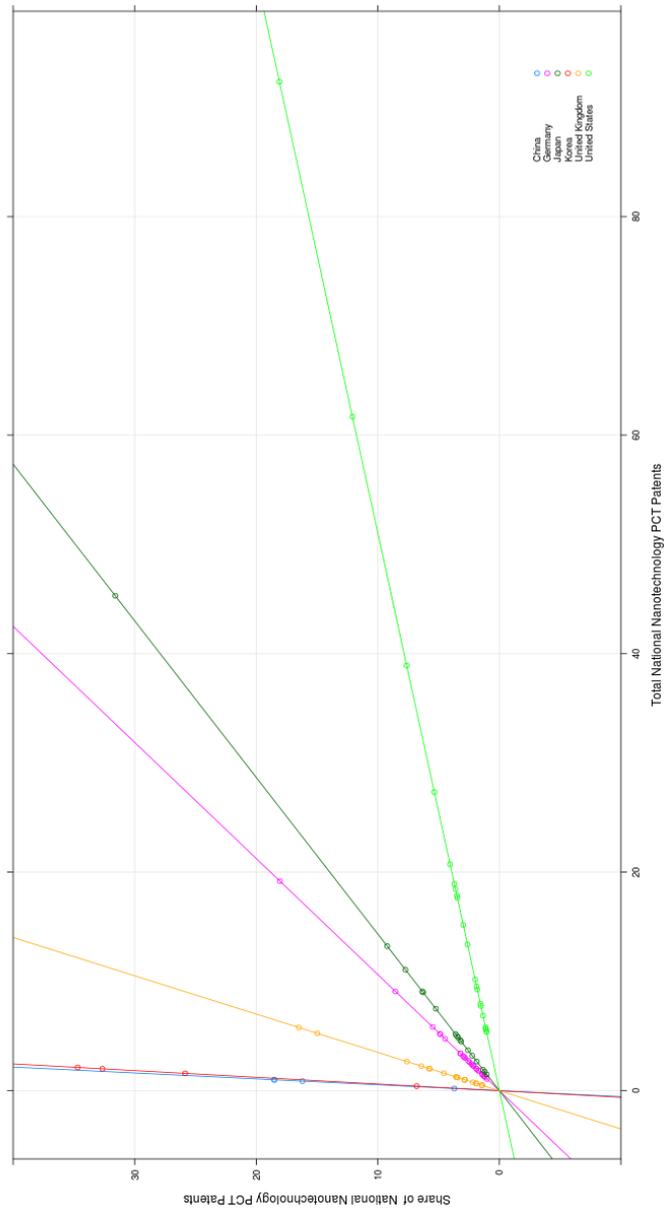
| Regional Hub  | Country | National Share |
|---------------|---------|----------------|
| Beijing       | CHN     | 43.06%         |
| Daejeon       | KOR     | 34.69%         |
| Jeollabuk-do  | KOR     | 32.65%         |
| Tokyo         | JPN     | 31.60%         |
| Seoul         | KOR     | 25.85%         |
| Hong Kong     | CHN     | 18.52%         |
| Shenzhen      | CHN     | 18.52%         |
| San Jose Area | USA     | 18.09%         |
| Dusseldorf    | DEU     | 18.05%         |
| Cambridge     | GBR     | 16.50%         |

**Table 8.4:** Nanotechnology innovation hubs in 2000

most of the Chinese international triadic patent applications. Those would be:

- The municipality of Shanghai, biggest city in China and the second most populous of the four municipalities, i.e. a city with provincial status under the direct control of the central government. It has a population of 24 million (2014) according to the Chinese Bureau of Statistics.

As shown in chapter 6, Shanghai concentrates two Project 985 Tier 2 research universities, Fudan University and Shanghai Jiao Tong University, the former being origin of the Academic Ranking of World universities also known as the Shanghai Ranking, and several Tier 3 ones. The municipality of Shanghai produced 23.57% of all



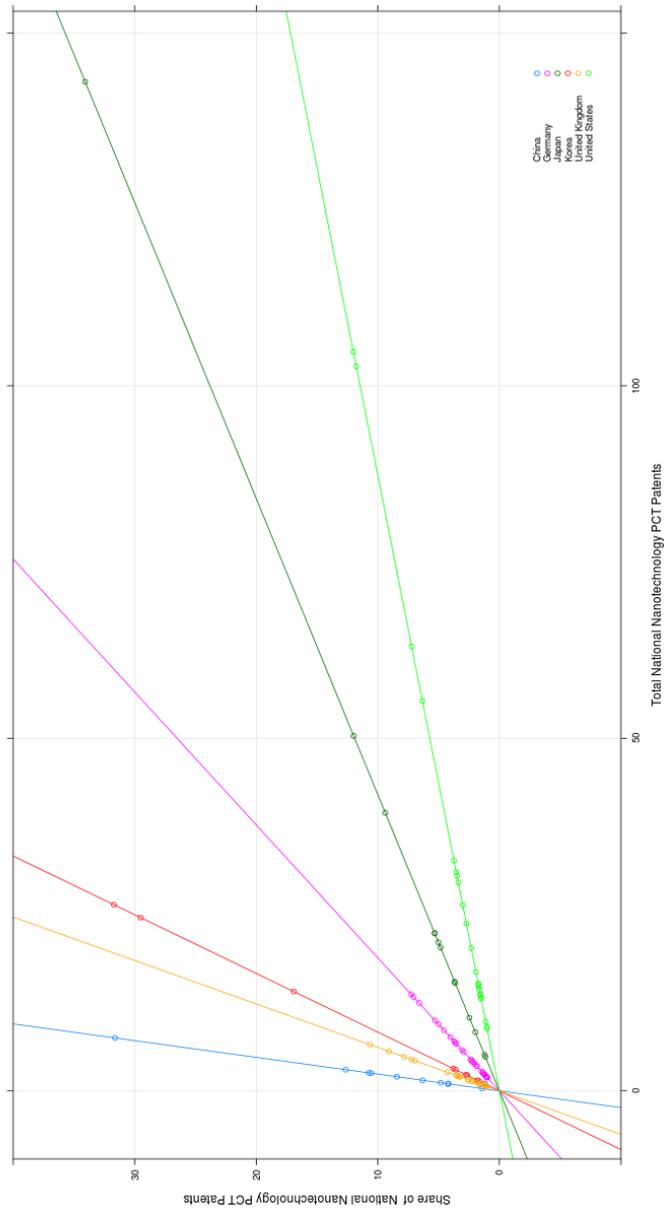
**Figure 8.4:** Nanotechnology triadic patents by regions in 2000.

| Regional Hub  | Country | National Share |
|---------------|---------|----------------|
| Tokyo         | JPN     | 34.07%         |
| Seoul         | KOR     | 31.71%         |
| Beijing       | CHN     | 31.61%         |
| Daejeon       | KOR     | 29.51%         |
| Gyeonggi-do   | KOR     | 16.91%         |
| Jiangsu       | CHN     | 12.64%         |
| Boston Area   | USA     | 12.01%         |
| Kanagawa      | JAP     | 11.99%         |
| San Jose Area | USA     | 11.77%         |
| Liaoning      | CHN     | 10.78%         |

**Table 8.5:** Nanotechnology innovation hubs in 2006

Chinese nanotechnology patent applications in 2012.

- The municipality of Beijing, capital city of China. Beijing has a population of 21.5 million (2014) according to the Chinese Bureau of Statistics. Beijing is home to the only two Project 985 Tier 1 research universities (University of Beijing and Tsinghua University), three Tier 2 universities (Beijing Institute of Technology, Beijing Normal University and Renmin University of China) and several Tier 3 universities. The municipality of Beijing produced 20.70% of all Chinese nanotechnology patent applications in 2012.
- The city of Shenzhen, which is located in the southern province of Guangdong. Shenzhen was designated as China's first SEZ in 1980, being the target of some free market policies that led to foreign and



**Figure 8.5:** Nanotechnology triadic patents by regions in 2006.

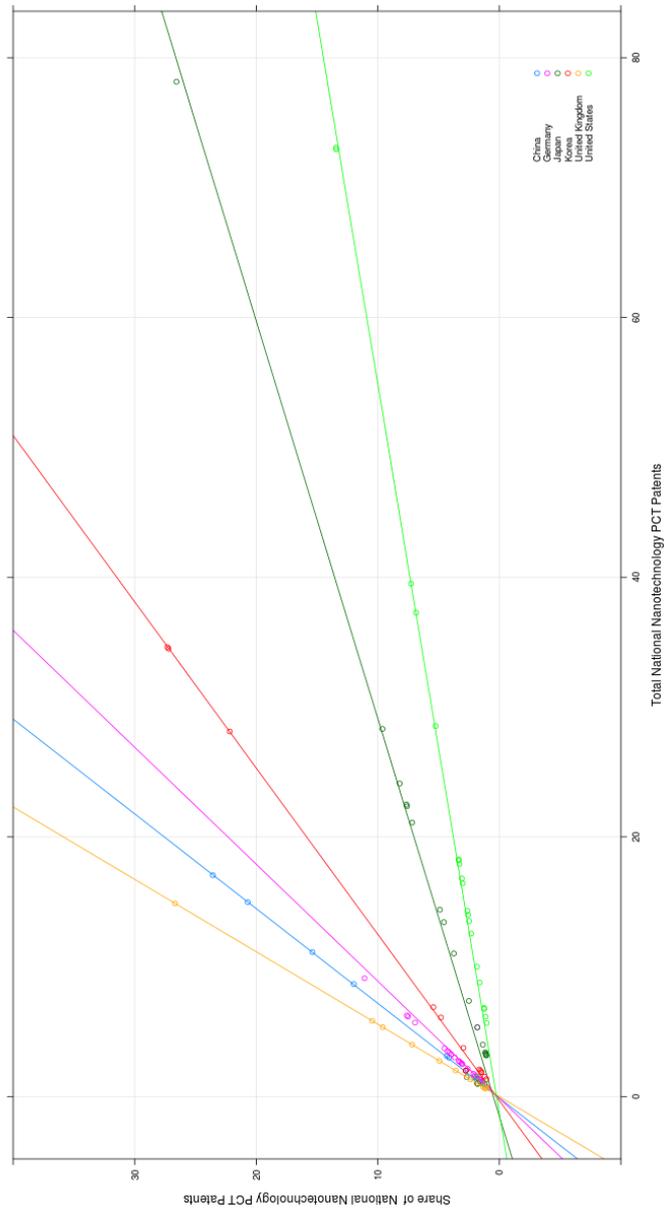
| Regional Hub  | Country | National Share |
|---------------|---------|----------------|
| Seoul         | KOR     | 27.31%         |
| Daejeon       | KOR     | 27.22%         |
| Oxford        | GBR     | 26.69%         |
| Tokyo         | JPN     | 26.57%         |
| Shanghai      | CHN     | 23.57%         |
| Gyeonggi-do   | KOR     | 22.19%         |
| Beijing       | CHN     | 20.70%         |
| Shenzhen      | CHN     | 15.43%         |
| Boston Area   | USA     | 13.43%         |
| San Jose Area | USA     | 13.41%         |

**Table 8.6:** Nanotechnology innovation hubs in 2012

domestic trade and investment. Shenzhen is currently a technological and financial center. The city of Shenzhen, whose patent statistics are provided separately, produced 15.38% of all Chinese nanotechnology patent applications in 2012, with the rest of the Guangdong province contributed with an additional 1.90%.

- The Western province of Sichuan, not including the municipality of Chongqing, formerly part of the province. Sichuan is the most relevant Western province regarding nanotechnology triadic applications, which are dominated by Eastern and Southern provinces. The province of Sichuan produced 11.98% of all Chinese nanotechnology patent applications in 2012.

This is the current situation in China according to the most recent data



**Figure 8.6:** Nanotechnology triadic patents by regions in 2012.

available. However, in order to successfully depict the evolution of China's nanotechnology innovation hubs since the technology started to produce measurable research outputs, we can consider patent statistics of the last two decades, and more specifically the period we have considered in previous chapters, i.e. starting in 1994 and extending till the latest available dataset.

We will consider China together with the five most important nanotechnology powers, as shown in table 8.1, to a regional level and we will define an innovation hub as any sub-national entity which is responsible for at least 1% of all national nanotechnology triadic applications. We will use the patent application datasets provided by OECD.

Figure 8.3 depicts the starting situation in 1994. All regional hubs following the aforementioned definition have been color-coded and plotted for China, Germany, Japan, Korea, United Kingdom and the US. However, we can spot no regional hubs yet for China and Korea. Nanotechnology patent applications were still submitted by Western nations and Japan only.

In 1994, American innovation hubs were the ones producing the largest number of patent applications, i.e. the ones located in the bottom right corner of the plot, but patent application is not largely concentrated. More than 20 American hubs produce above 1% of national applications, and none of them exceed 12% of the total number. In the case of Japan and the United Kingdom there is a more skewed distribution, with a smaller number of innovation hubs present and a few of them exceeding 10% and approaching 20% of the total production. Countries with a very concentrated output are located in the upper left corner of the plot. Germany is

in a middle ground here.

Table 8.3 lists the top nanotechnology innovation hubs in 1994 by the share of the national nanotechnology patents applications. In 2000, as listed in table 8.4 and shown in figure 8.4, major changes have occurred. Not only Korea but also China have started filling patent applications. However, production is still very reduced and it is concentrated in a few areas, especially in the case of Korea (three regional hubs, Seoul, Daejeon and Jeollabuk-do, produce over 93% of all national patent applications) and to a lesser extent China (three regional hubs, Beijing, Hong Kong and Shenzhen, produce around 80% of all national patent applications). Japan, the leading Asian nation, has positioned itself as the second largest applicant, ahead of Germany and just behind the United States, with a very strong innovation hub located in Tokyo.

It is important to bear in mind that the figures represented in tables 8.3 to 8.6 are relative to national production, which means that the innovation hubs are very important in terms of their share of the number of triadic patents applied at the national level. However, before 2006, the number of nanotechnology patents applied by Korean and Chinese inventors was still very low compared to these of the United States, Japan and Germany, as shown in figure 8.4.

The consolidation of Japan a few years later, and the emergence of Korea and China can be spotted in figure 8.5. China had already 10 regional hubs in 2006, which produced a combined output of above 90% of China's national nanotechnology triadic patent applications. Most of them have been filed from Beijing and Liaoning, as shown in table 8.5.

## 8.5 Standarization, Products and Processes

China has also actively engaged in integrating its nanotechnology research and development with the global market and R&D platforms, developing international and national standards on nanotechnology. In fact, China is among a few countries involved in developing industrial standards for nanotechnology, as well as in the creation of technical standarization committees and health, safety and environmental regulation institutions [Bhattacharya et al., 2012].

In fact, China was the first country to issue national standards for nanotechnology in April 2005 [WWI, 2005]. In response to these newly identified needs, a newly working group in Material Specification was formed in the International Organization for Standarization (ISO), and China was made convenor of this group in recognition of its key role<sup>4</sup>.

The National Center for Nanoscience and Technology led a project on researching nanotechnology standards for the 11th Five-Year Plan, which set the goal of creating international and national technology standards to ensure China's place in the «intense competition between global measurement and research organizations», because of the important role that standards play in high-tech industry development: The establishment of standards is key to the development of an industry, as it can regulate the products being created, and therefore allow the entry of proper products into the market or deny its entry.

---

<sup>4</sup>Working Group 4: Materials Specifications. Aim: Scope currently under development to include consideration of properties and characteristics of manufactured nanomaterials. Source: ISO.

China has created 27 nanodimensional material and characterization standards, two standards on terminology and nomenclature and twelve nano materials and product standards [Hatto, 2009] [Liu, 2009]. By the end of the 11th Five-Year Plan, China had developed six international nanotechnology standards, and has implemented 22 national standards [National Center for Nanoscience and Technology, 2011] These standards currently cover various nanomaterial types, new means of measuring nanotechnology product dimensions, behaviours and also properties for quality assurance [Bhattacharya et al., 2012].

Another of China's key nanotechnology initiatives has been the thrust on development of *indigenous* instruments for research. This is the case of atomic force microscopes (AFM) and scanning tunnel microscopes (STM), used to foster nanotechnology research projects, such as nanomaterial characterization. China had an early start in this area. It created an atomic force microscope in 1989 which is commercially manufactured by a Chinese company and began researching in carbon nanotubes in 1992, emerging as a world leader in the commercialization of basic nanomaterials applications such as coatings and composites. Yarns made out of carbon nanotubes were created by Tsinghua University in 1999. These can be woven into a variety of macroscopic objects for different application, such as bulletproof vests and materials that block electromagnetic waves.

The Institute of Metal Research in Shanghai discovered the superplastic property of nanostructured copper in 2002, which was a higher tensile strength while retaining electrical conductivity of regular copper. Fudan University developed a general synthetic strategy for creating stable multi-component materials that can lead to new catalysts and environ-

mental filtration devices. China has also become a leader in the production of some nano-related industrial products, such as the nano filters for air conditioners, nano-material textiles and clothing that have enhanced antimicrobial properties, the nano coatings and plastics for refrigerators, and anti-corrosive nano paints used in oil tanks; however these innovations have not reached the stage of commercialization [Cao et al., 2013].

The Project on Emerging Nanotechnologies [Vance et al., 2015] database contains 1,827 products or product lines in which nanotechnologies has been part of their development. 33 countries show their presence in this database. The USA (756 products), Germany (319 products), South Korea (135 products), the United Kingdom (92 products), China (58 products) and Japan (56 products) have major presence. China has presence in products related to electronics, ICTs, energy, health and home products.

## **8.6 Conclusions and Further Work**

Chinese authors have dramatically increased their research outputs in the field of nanotechnology, particularly when scientific papers are considered as an indicator. However, China still lags behind the United States and leading European countries in measures of research quality. Citations received by Chinese papers did not grow alongside the number of published papers; China is not currently attracting as much citations as the USA and Europe do.

However, the current emergence of China as a major player in the area of nanotechnology can be easily spotted when top cited papers are consid-

ered; while the Asian power is still lagging behind the USA, its output is approaching that of its main rival. It is important to remark that language is not the reason for low citation in this case, as above 90% of papers by Chinese researchers in journals covered by the considered databases are in English [Bhattacharya et al., 2012].

In general terms, it appears that China is being able to translate its strength in Physical Sciences and Engineering in addressing nanotechnology research. China has for instance produced the maximum research papers in three areas within nanotechnology, namely polymer science, electrochemistry, and metallurgy and metallurgical engineering. Nanotechnology as an interdisciplinary field can be a very promising area to measure the performance of China as a science power and to evaluate to which extent its research is advancing towards a more balanced, multidisciplinary mix, where hybrid, complex technologies have a growing relevance.

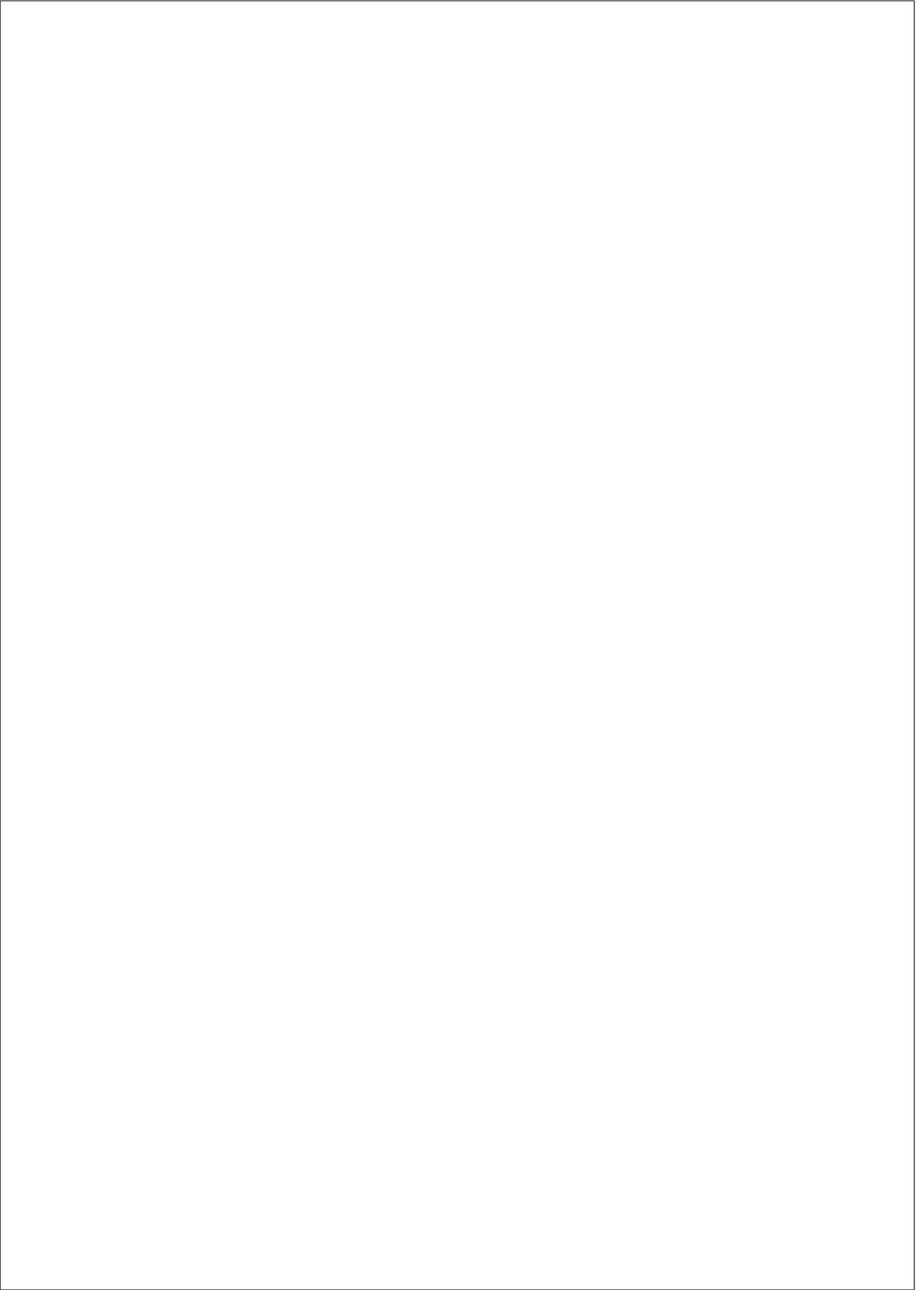
Regionally, location matters in terms of generating innovation economies. OECD data allows to conclude that only a few countries, particularly the United States and Japan, are home to many of the top knowledge intensive industries. In the case of nanotechnology, the United States and Japan, and to a lesser extent Korea, Germany and the United Kingdom, are home to a higher number of innovation hubs -those producing at least 1% of the national triadic patent applications-.

However, China has improved its innovation profile in nanotechnology in the last two decades. Back in 2000, three innovation clusters could be identified in China: Beijing, Hong Kong and Shenzhen. Even when overall patent application was very low, these innovation hubs were very important in terms of their share of the number of triadic patents applied at

the national level. In 2012, China's output had increased dramatically surpassing that of the United Kingdom. This results confirm the findings by Tang [Tang and Shapira, 2011] and Motoyama [Motoyama et al., 2014] concerning the high geographic concentration of nanotechnology outputs in China. Regarding its position in the international arena, China only applied for 4.5% of the world's triadic patents in 2012, lagging behind the 34.4% of the United States.

In the same fashion, China's NI, i.e. the share of the world's nanotechnology patents produced by China divided by the share of the world's overall international patents produced by China in the same period of time has increased from 0 to 0.45 in the period 1994-2012, and it's actually close to the Germany's 0.57, but still lagging behind other industrial economies with a strong nanotechnology knowledge base. Actually, U.S.-based authors still account for more than a third of all scientific documents cited in patents in the nanotechnology area,

In summary, the United States is unlikely soon to be displaced by China or emerging economies in the nanotechnology sector. The United States also remains ahead in terms of commercialization, although concerns that Asian countries are rapidly catching up should not be dismissed. The United States remains a leader in nanotechnology, along with Japan and Germany, though other Asian countries, particularly Korea and China, are expanding and improving their nanotechnological base.



## **Capítulo 9**

# **CONCLUSIONES**

### **9.1 Política económica y científica**

El estudio de la política científica china ha revelado como los programas especiales de financiación han tenido una importancia creciente desde que en 1983 se creara el «Grupo Director» y se empezara a introducir el nuevo sistema promoción de la investigación. En las tres últimas décadas han ido sucediéndose nuevas herramientas de financiación cuyos fondos se han incrementado paulatinamente y que han otorgado mayor prioridad a aquellos proyectos de investigación y desarrollo susceptibles de una aplicación inmediata a la producción industrial desde el gobierno del primer ministro Zhao Ziyang (1981-1987). «La Decisión de 1985» constituye el punto de inflexión del sistema chino de innovación pues consagra la orientación de la ciencia y la tecnología hacia la consecución del desarrollo económico por la vía de lograr resultados de investigación aplicables

a la incipiente industria china.

Un elemento clave de la política científica china a partir de 1995 es el establecimiento de líneas prioritarias de investigación en las que se concentrarían los recursos [Cao, 2002]. El propio Deng apoyó la idea de financiar grandes proyectos científicos en la frontera del conocimiento que permitieran salvar la distancia entre China y las naciones avanzadas y promovieran el prestigio de la nación; el proceso de reforma queda nítidamente vinculado al proceso de desarrollo: este último había de refinar el enfoque de la reforma, mientras que las reformas tenían la función de proveer nuevas oportunidades para profundizar en el desarrollo. Se ha identificado y descrito un sistema estructurado en torno a tres niveles fundamentales y basado en programas especiales de financiación al servicio de la consecución de objetivos concretos de desarrollo, tal y como sugería la hipótesis **H5**.

China ha mejorado notablemente su posición en el escenario científico internacional y ha incrementado la proporción de los resultados de la investigación mundial que produce, hasta el punto de que se puede afirmar que China se está convirtiendo en uno de los actores principales de la ciencia internacional. Tal y como se ha estudiado, las publicaciones científicas de autores chinos se multiplicaron por tres en sólo diez años (2001-2011), el mayor incremento de todos los países analizados, cuyo crecimiento oscila entre el 1 % del Reino Unido y el 132 % de Corea del Sur. Un patrón similar puede observarse en la evolución de las patentes triádicas: la aportación china a la producción mundial se sextuplicó en el periodo estudiado, convirtiéndose así en el país de mayor éxito, seguido por otras naciones de Asia Oriental como Taiwan (que multiplicó por cuatro su producción) y Corea del Sur, con un incremento del 150 %.

No obstante, Japón, el país más innovador en lo referente a la producción de patentes, mantiene su liderato con un incremento del 12 %. En términos globales, la emergencia de China confirma sin lugar a dudas la hipótesis **H1**, ya que los resultados científicos del sistema chino de ciencia y tecnología han crecido por encima de la media mundial en las dos últimas décadas, y éste se está transformando en un actor relevante en la escena internacional. Adicionalmente, la evolución positiva de otras naciones del área sugiere que el epicentro mundial de la innovación se está desplazando hacia el este.

## **9.2 Vínculos entre desarrollo económico y ciencia**

La progresiva consolidación del proceso de reforma económica y la progresiva apertura en este sentido han alimentado el crecimiento de la economía china en base a la producción de manufacturas para la exportación. El incremento anual del GDP chino se ha ubicado en torno al 10 % desde la década de 1990, si bien recientemente se ha moderado, hasta situarse la cifra oficial en un 6,9 % en 2015.

El análisis de los datos relativos a la inversión en I+D, tales como su magnitud, su origen (pública, privada u otra), el tipo de investigación al que se dirigen (básica o aplicada), la proporción de la población dedicada a las tareas de investigación y el valor añadido de la producción industrial han permitido conocer y analizar los vínculos entre el desarrollo económico y el de la ciencia y la tecnología. Se han establecido relaciones entre la evo-

lución en dicha inversión en términos macroeconómicos y la evolución de tales resultados, lo que ha permitido medir con precisión y comparar la eficiencia del sistema chino con la de otros sistemas nacionales.

La disponibilidad de fondos ha permitido un crecimiento constante de la inversión en I+D -se encontraba en el 0,57 % de su Producto Interior Bruto en 1995, en el 0,9 % en 1999 y ha llegado al 2 % en 2014 [OECD, 2016]- y el papel clave desempeñado por el gobierno chino ha transformado la economía, mucho más orientada hacia los productos de alta tecnología que hace quince años; el valor añadido de su producción industrial de alta tecnología, por ejemplo, se multiplicó por catorce en quince años, pasando de 25.192 miles de millones de dólares en 1997 a 364.938 en 2012 [IHS Markit, 2014].

Estas cifras confirman que el crecimiento de la financiación de la I+D y el rol predominante de una industria respaldada por el gobierno ha transformado la economía china, que se está enfocando hacia productos tecnológicos de mayor valor añadido, tal y como se enunciaba en la hipótesis **H2**.

Este énfasis industrial está relacionado con el hecho de que China invierte proporcionalmente más en desarrollo e investigación aplicada que las naciones industrializadas, cuyo esfuerzo en investigación básica es más marcado. Además, China está dedicándose especialmente programas de ciencia aplicada, entendiendo por tales los vinculados a objetivos de crecimiento económico, desarrollo tecnológico y defensa, a costa de la investigación en ciencias sociales y humanidades. Este esfuerzo se ha traducido en un incremento exponencial de las publicaciones científicas y las patentes internacionales producidas por científicos e inventores chinos.

A pesar del notable incremento de los fondos destinados a financiar la investigación y el desarrollo en China y del aumento del valor añadido de su producción industrial, China está todavía muy lejos de las naciones industrializadas en lo referente a la inversión en investigación fundamental, que sólo recibe un 0,1 % del GDP. La inversión en investigación china ha sido históricamente muy baja y actualmente recibe en torno a 5 % de todos los fondos destinados a I+D, mientras la cifra oscila entre un 10 % y un 25 % en las naciones más desarrolladas.

Así pues se confirma cómo el énfasis industrial chino influye en el perfil de la investigación recibe más financiación, y concretamente en el hecho de que se promociona la investigación aplicada en detrimento de la investigación básica, tal y como se adelantaba en la hipótesis **H3**.

### **9.3 Análisis cuantitativo del sistema de I+D**

El estudio del sistema chino de ciencia y tecnología en base a la evolución de indicadores tales como la disponibilidad de fondos y personal para la I+D, el número de artículos publicados en revistas científicas, el número de citas que estos artículos reciben, el número de solicitudes de patentes internacionales, etc, ha permitido construir una visión completa del mismo y extraer una serie de conclusiones, entre las que cabe destacar:

- China ha consolidado su posición como país productor de artículos científicos: el porcentaje de las publicaciones científicas mundiales producidas por China se incrementó de un 3,4 % en 2001 a un 10,9 % tan sólo una década después, mientras países como Estados

Unidos, Alemania o Japón veían reducida su cuota. No obstante, el análisis de la evolución de la publicación científica internacional en las dos últimas décadas sugiere que, a pesar de que China ha experimentado un crecimiento sin precedentes en términos del número absoluto de artículos de investigación publicados en revistas internacionales, todavía no ha alcanzado la posición de Estados Unidos como líder mundial, contradiciendo así los resultados publicados en análisis previos [Royal Society, 2011], que anticipaban este alcance por parte de China.

- El análisis detallado de las disciplinas científicas a las que corresponden los artículos en los que participan autores chinos ha permitido conocer la evolución de las áreas del conocimiento en las que se concentra una mayor parte de la producción científica china. Se ha hallado que existe una correlación fuerte entre la emergencia de China en estos sectores y un descenso en la presencia relativa de potencias científicas establecidas, tales como Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia y el Reino Unido, en la producción mundial de artículos de investigación en revistas internacionales revisadas por pares.

El perfil de actividad del país, entendiendo por tal la proporción de artículos con presencia china en la producción total en determinado sector del conocimiento, en relación a la proporción global de artículos en este mismo sector, ha experimentado una notable evolución en las dos últimas décadas, y hasta finales de la década de 2000 China ha contado con un perfil de investigación caracterizado por una sobrerrepresentación de las matemáticas, las ciencias físicas y la ingeniería. Esto refuerza los resultados expuestos anterior-

mente en relación a la concentración de recursos -particularmente la financiación prioritaria de determinadas líneas de investigación, en general aplicadas y orientadas a determinados objetivos de crecimiento económico- y confirma la afirmación que en relación a las áreas del conocimiento contiene la hipótesis **H9**: los resultados de investigación chinos se distribuyen desigualmente en este sentido.

No obstante, esta distribución ha evolucionado en las dos últimas décadas y esta evolución se ha acelerado a partir de mediados de la década pasada. Así, en este momento, siete de las ocho disciplinas definidas están posicionadas en torno a la media mundial (con una diferencia menor del 50 %). Esta situación es muy diferente a la que encontramos hace dos décadas, en la que la producción relativa de tres de las disciplinas prácticamente duplicaba la media mundial y la de las otras cinco era prácticamente irrelevante en la producción china. Esto indica cómo el énfasis chino en determinadas áreas se ha ido matizando progresivamente; cabe destacar el auge de las ciencias biológicas y medioambientales, y la modesta aparición de las ciencias sociales y, en menor medida, de las humanidades, en los resultados chinos de investigación.

Cabe señalar que esta evolución es similar a la que experimentaron otras economías emergentes asiáticas como Corea del Sur, que inició antes que China el desarrollo de su sistema de ciencia y tecnología; Corea también ha pasado de un marcado énfasis en las matemáticas, las ciencias físicas y la ingeniería a una producción más equilibrada en las que las diferentes áreas del conocimiento tienen una participación significativa en el resultado global del país. Los resultados numéricos confirman lo enunciado, de forma más ge-

neral, en la hipótesis **H6** en lo referente al desigual desarrollo de los distintos campos del conocimiento, lo cual no es novedoso en el ámbito del desarrollo científico reciente de las naciones de Asia Oriental, si bien cabe matizar que China está caminado de manera clara hacia una producción científica más diversa y equilibrada.

Debido a algunas limitaciones en el alcance de las bases de datos de producción científica, se ha de matizar la relevancia de estas conclusiones. Al margen de que determinadas disciplinas estén menos financiadas en China, como se ha hallado, es importante tener en consideración que numerosas publicaciones [Moed, 2005] [Van Raan, 2005] [CHERPA, 2010] han demostrado que la medicina y las ciencias están mucho mejor representadas en lo referente al número de artículos científicos publicados en revistas internacionales que otras áreas tales como la ingeniería, algunas de las ciencias sociales y particularmente las humanidades, ya que estos indicadores cubren especialmente publicaciones periódicas en lugar de monografías y otros medios.

Por tanto, estos resultados no se pueden considerar como una imagen completamente fiel, sino como una herramienta muy útil al servicio del análisis diacrónico que emplea una variable estándar para todos los países estudiados y para el periodo de estudio completo. De esta forma, permiten extraer información significativa sobre cómo China ha desarrollado un perfil científico y cómo este perfil puede compararse con otras potencias científicas, así como para indentificar las tendencias reseñadas anteriormente.

- El número de citas recibidas por los artículos publicados por China

sigue siendo una fracción de la cifra acumulada por otras naciones: China logró el 3,9 % de las citas en ese periodo, todavía lejos del 36,6 % de Estados Unidos, el 7,9 % de Alemania y el 6,1 % de Japón. Se puede concluir pues que, sin poner en duda el crecimiento de la ciencia china y el incremento en la cantidad de sus resultados de investigación -en base al aumento en el número de publicaciones científicas-, el impacto de los mismos -medido en el número de citas que éstos reciben, y por tanto en el uso de los mismos por parte de la comunidad científica a modo de referencia- no ha seguido la misma trayectoria. La conclusión de que la obra científica de los investigadores chinos todavía es menos citada que la su pares estadounidenses, alemanes, japoneses, etc, confirma análisis previos [Peng, 2011] de la producción china.

- A pesar de que los resultados en términos son todavía modestos, China está otorgando mayor prioridad a los resultados de investigación que pueden traducirse en publicaciones de alto impacto y mayor número de citas, tales como artículos en revistas como Nature y Science. Esta medida se traduce en un mayor apoyo a la investigación en áreas como la medicina y las ciencias a costa de áreas como las ciencias sociales y las humanidades, en aquellas universidades chinas que quieren incrementar su rendimiento en áreas específicas que se puede traducir en un crecimiento de los indicadores que se utilizan, por ejemplo, en la elaboración de rankings de instituciones de educación superior, y por tanto, en una mayor visibilidad de la institución a nivel internacional.
- Los investigadores chinos, tal y como sugería la hipótesis **H4**, son menos productivos que sus homólogos en otras naciones, en rela-

ción la producción de artículos científicos en inglés y de solicitudes de patentes triádicas. Se ha de considerar que existe un importante ecosistema de revistas científicas en chino (unas cinco mil revistas, de las cuales la mayoría se publican en chino según Tian [Tian, 2003]) y que las patentes triádicas no incluyen las solicitadas ante la oficina china de patentes (sino únicamente aquellas que tendrán validez en Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, de ahí su nombre). Ambos factores son responsables de una menor presencia china en los resultados internacionales.

No obstante, son los indicadores globales (bases de datos de artículos en revistas internacionales, mayoritariamente en lengua inglesa, y patentes dirigidas al mercado global) los que nos permiten establecer una comparación en régimen de igualdad que utiliza indicadores únicos, salvando así las peculiaridades de los indicadores nacionales, como es el caso de los muy distintos criterios que se aplican en las oficinas nacionales a la hora de aceptar o rechazar patentes.

En base a estos indicadores y a la disponibilidad de recursos (armonizados también en forma de paridad de poder adquisitivo en caso de los fondos destinados a financiar la I+D y en forma de equivalencia en dedicación a tiempo completo en caso del personal de investigación) podemos afirmar que el sistema chino, aun siendo menos eficiente que sus homólogos occidentales, ha mejorado su productividad y que su producción científica, tanto en términos absolutos como medida per cápita va a continuar incrementándose en el futuro cercano.

- Por último, resulta necesario señalar que el presente documento sólo ha considerado la cantidad y la calidad de la producción científica china (y la de otros países con objeto de establecer una comparación) en base a los indicadores mencionados anteriormente, que constituyen indicadores internacionalmente aceptados como medidas válidas de la producción académica.

No se ha hecho uso de ningún tipo de indicadores nacionales, tales como artículos publicados en revistas no internacionales, estadísticas sobre patentes procedentes de oficinas nacionales, o cualquier otro indicador que no pueda ser utilizado para una comparación internacional con criterios homologables. Cuestiones como el rigor del proceso de revisión por pares en China [Barbash, 2015] [Sonmez, 2015], la presión para publicar que sufren los investigadores [Qiu, 2010] [Li, 2015] o los problemas del plagio y del fraude académico [Wong, 2010] [Cyranoski, 2010] [Cyranoski, 2012]; numerosos académicos [Poo, 2004] [Sharma, 2011] [Peng, 2011] [Seife, 2014] los consideran generalizados en China pero quedan fuera del ámbito de este estudio.

## **9.4 Aspectos internacionales y movilidad**

El estudio de los aspectos internacionales del sistema chino de educación superior e investigación como elemento de política científica es un fenómeno muy reciente que aparece en artículos sólo después de 2004 [Liu, 2011]. Mohrman [Mohrman et al., 2008] identifica la idea de una universidad de nivel mundial con un modelo emergente global de uni-

versidad de investigación, que queda definida por tener una misión que trasciende los límites del estado-nación, ser intensiva en investigación, tener nuevos roles para los profesores, tener financiación de fuentes diversas, tener nuevas relaciones con sus socios, tener alumnos internacionales, desarrollar una mayor complejidad interna y cooperar intencionalmente con instituciones similares.

Con esta definición en mente, la presente tesis ha estudiado la presencia en China de las cuatro tendencias identificadas por Chen [Chen, 2011] enunciadas en los objetivos anteriores. Concluimos que la política china en relación al alcance internacional de su sistema educativo y científico puede considerarse como el resultado de un planteamiento muy utilitarista. Las instituciones de educación superior, y en particular aquellas definidas como de primer nivel por el gobierno, se han identificado como una fuente de talento, creatividad e innovación al servicio del proceso de crecimiento económico iniciado al final de la década de 1970 y comienzos de la de 1980, tal y como adelantaba la hipótesis **H7**.

Esta estrategia puede hallarse en otras naciones que hicieron énfasis en el conocimiento como motor principal de su economía nacional y como garantía de un crecimiento económico sostenible. De hecho, un vínculo clave entre la educación superior y el desarrollo económico se halla en el énfasis particular que se ha puesto en programas que puedan afectar positivamente a este último, así como la concentración de los esfuerzos de las universidades en el avance científico y tecnológico y en los programas de defensa.

No obstante, en el caso particular de China, un número muy pequeño de instituciones (en torno a un 7 % del total) ha sido seleccionadas para par-

ticipar de forma significativa en este proceso al recibir financiación prioritaria para su ejecución, y un número todavía menor (apenas por encima del 2 %) están destinadas a convertirse en referencias mundiales según los planes chinos.

El lanzamiento del Proyecto 985 en mayo de 1998, coincidiendo con el centenario de la Universidad de Beijing, supuso el inicio de un proceso de selección y financiación de un grupo de universidades de elite -inicialmente sólo nueve y posteriormente un total de treinta y nueve- para construir nuevas instalaciones, atraer investigadores de prestigio y promover la internacionalización. El establecimiento, tan sólo unos años después, del Proyecto 211 para elevar los estándares de investigación de las universidades de alto nivel ha reforzado el desigual desempeño de las universidades chinas.

Las 118 instituciones pertenecientes a este grupo (que incluyen a las 39 del Proyecto 985) forman a cuatro quintas partes de los estudiantes de doctorado del país y a dos terceras partes de los de posgrado, albergan la mitad de los estudiantes extranjeros que visitan China y concentran un tercio de todos los estudiantes de grado. Cuentan, además, con el 96 % de los laboratorios de investigación considerados clave a nivel estatal y reciben el 70 % de la financiación para investigación. Esta concentración de recursos, que no es del todo novedosa -en el momento de la fundación de la República Popular en 1949, el 41 % de los estudiantes universitarios se concentraban en sólo seis ciudades, y las regiones menos desarrolladas apenas contaban con infraestructuras- ejemplifica la orientación elitista de la administración china en su proceso de internacionalización de su sistema de educación superior. Se confirma así cómo un pequeño número de instituciones lideran el sistema chino y acumulan la mayor parte de

los resultados, mientras la mayor parte de las instituciones se encuentran lejos de los estándares internacionales, tal y como adelantaba la hipótesis **H8**.

Esta situación está muy relacionada con el planteamiento que da lugar al uso de indicadores y a los rankings mundiales. Puesto que no existe un único ránking aceptado como estándar internacional, los tres más usados se han empleado para ilustrar la posición de las universidades chinas a nivel mundial: el ARWU, el THE y el QS. Estas clasificaciones, y los indicadores que dan lugar a ellas, se están usando muy ampliamente para determinar el status de las instituciones de educación superior en China. De esta forma, las instituciones de mayor prestigio en China parecen obstinadas en mejorar tales indicadores, y este objetivo está conectado con una mayor movilidad internacional de alumnos y profesores, una reestructuración de los currículos o incluso de la institución, a través de consorcios y fusiones, y a una mayor presencia de artículos escritos o participados por autores chinos en publicaciones científicas de impacto. Se ha hallado que estas instituciones participan de forma decisiva en los resultados de investigación reseñados anteriormente.

## **9.5 Estudio de caso**

Como ejemplo sectorial del proceso histórico reciente del desarrollo del sistema chino de ciencia y tecnología se tomó el área de la nanotecnología, que ha sido destacada como sector clave en la política científica china en el vigente MLP (2006-2020), y forma parte de las prioridades chinas para su esfuerzo científico al servicio del crecimiento económico. La in-

investigación en nanotecnología requiere de un importante trabajo previo en determinados sectores del conocimiento (ciencias físicas e ingeniería, que son precisamente las áreas que han dominado la producción científica china durante las dos últimas décadas, tal y como se ha detallado anteriormente) y supone un excelente ejemplo de investigación aplicada dirigida a la obtención de productos industriales de mayor valor añadido.

China está siendo capaz de traducir su capacidad en ciencias físicas e ingeniería para abordar la investigación en nanotecnología, lo que se ha traducido en la producción de artículos científicos en áreas como ciencia de polímeros, electroquímica e ingeniería metalúrgica. Así, la nanotecnología es un campo muy prometedor para evaluar el desempeño de China como potencia científica y para contrastar la evolución de su producción científica hacia una combinación de resultados más equilibrada -tal y como se sugiere el estudio de la evolución histórica de su índice de actividad y se detallaba en párrafos anteriores-, en la que las tecnologías complejas e híbridas tengan una relevancia creciente.

En términos de inversión en investigación y resultados, se puede considerar que Estados Unidos es el líder mundial en el área de la nanotecnología. El liderazgo de EE.UU. no sólo se refleja en la cantidad de financiación disponible, sino especialmente en la producción de resultados de investigación, tales como artículos científicos y patentes internacionales. El crecimiento chino está todavía lejos de amenazar este liderato.

A nivel regional, existe una gran disparidad en lo referente a la producción de resultados. El estudio pormenorizado de los datos recogidos por la OECD indica que sólo un número muy reducido de países, encabezados por Estados Unidos y Japón, cuentan con un número elevado de industrias

intensivas en conocimiento.

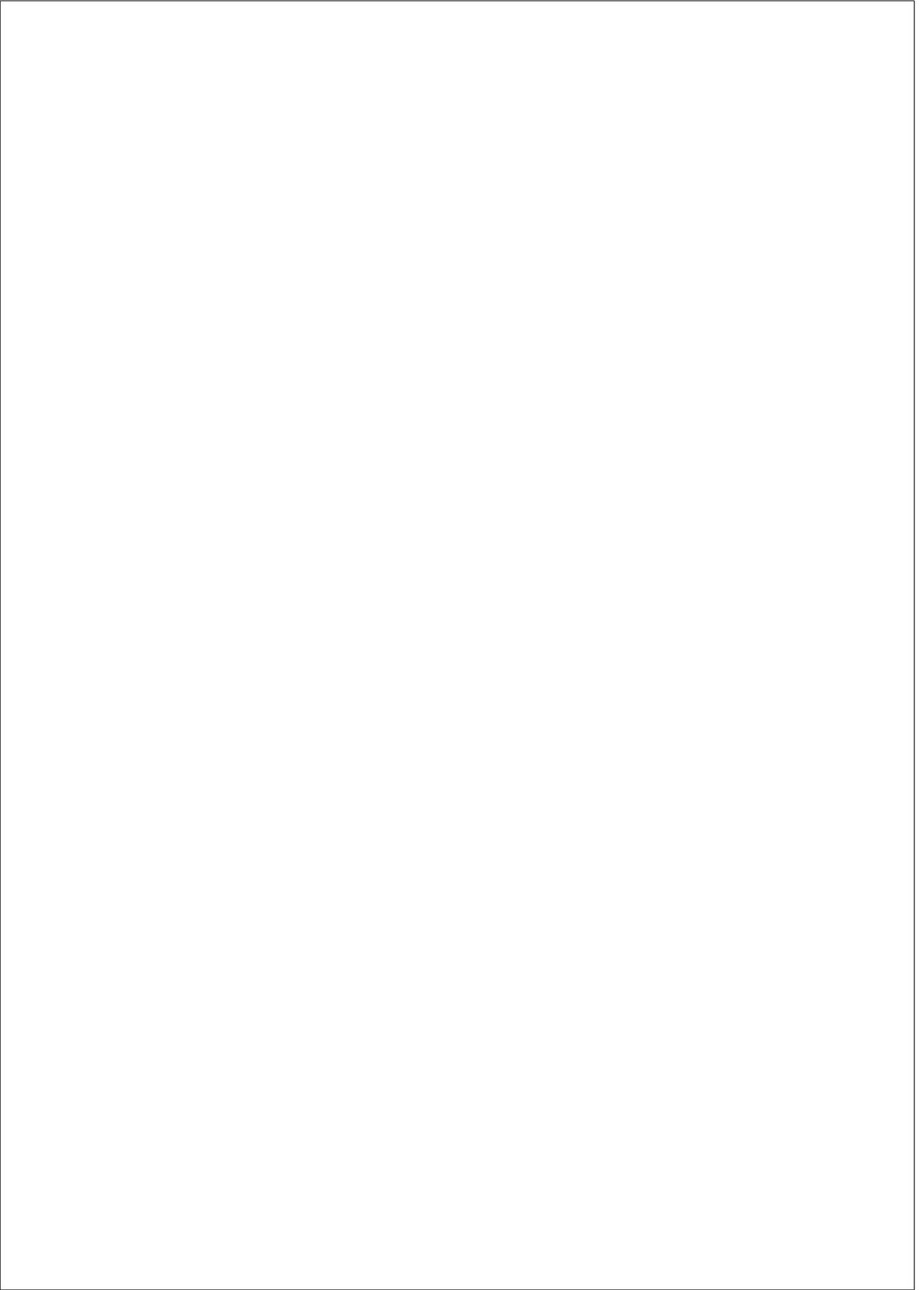
No obstante, China ha mejorado su perfil de innovación en nanotecnología en las dos últimas décadas. En el año 2000, se podían identificar tres centros de innovación en China: Beijing, Hong Kong y Shenzhen. La producción de patentes era muy limitada y se concentraba en estas tres áreas. En 2012, la producción china se ha incrementado dramáticamente cuando se considerara este indicador, superando al Reino Unido. No obstante, China sólo fue responsable de un 4,5 % de las solicitudes mundiales en 2012, muy por detrás del 34,4 % que correspondió a Estados Unidos.

De un modo similar, el NI de China, es decir la fracción de patentes en este área solicitadas por China divididas por la proporción de todas las patentes internacionales solicitadas por China se ha incrementado de 0 a 0,45 en el periodo 1994-2012, aproximándose así a la cifra de Alemania que se sitúa en un 0,57; no obstante China está todavía lejos de las economías con una importante base de conocimiento en la materia. De hecho, los autores basados en Estados Unidos son responsables de más de una tercera parte de los artículos que se citan en las patentes nanotecnológicas.

Tal y como se concluía en lo referente a la producción científica general en las líneas anteriores, China no ha desplazado a Estados Unidos en el área de la nanotecnología y es improbable que lo haga a corto plazo. EE.UU. también lidera la comercialización, seguido por Japón y Alemania, aunque Corea del Sur y China están expandiendo y mejorando su posición. Según el Proyecto de Nanotecnologías Emergentes [Vance et al., 2015], una base de datos que contiene 1.827 productos o líneas de productos en cuyo desarrollo ha intervenido la nanotecnología, Estados Unidos lide-

ra la clasificación de los 33 países presentes con 756 ítems, seguido de Alemania (319 productos), Corea del Sur (135 productos), Reino Unido (92 productos), China (58 productos) y Japón (56 productos). China tiene presencia en los productos relacionados con la electrónica, las comunicaciones, la energía, la salud y la domótica.

Éste énfasis en la comercialización de los resultados, unido al propósito chino de desarrollar sus propios estándares nanotecnológicos, para su aplicación nacional e internacional, confirma la importancia que China otorga a este sector y sugiere que éste seguirá teniendo una importancia capital en el contexto de la política científica china en las próximas décadas.



# Bibliografía

- [Academic Ranking of World Universities (ARWU), 2014] Academic Ranking of World Universities (ARWU) (2014). Shanghai Ranking.
- [Allen, 2008] Allen, F. (2008). China's Financial system: Past, present and future. In Brandt, L. and Rawski, T. G., editors, *China's Great Transformation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [Allen et al., 2007] Allen, F., Qian, J. Q., and Qian, M. (2007). China's Financial System: Past, Present, and Future. In *China's Great Economic Transformation*, pages 1–63. Cambridge University Press.
- [Altbach and Knight, 2007] Altbach, P. G. and Knight, J. (2007). The Internationalization of Higher Education: Motivations and Realities. *Journal of Studies in International Education*, 11(3-4):290–305.
- [Appelbaum and Parker, 2008] Appelbaum, R. and Parker, R. (2008). China's bid to become a global nanotech leader: advancing nanotechnology through state-led programs and international collaboration. *Science and Public Policy*, 35(5):319–334.

- [Baek, 2002] Baek, S.-W. (2002). Does China follow the East Asian development model? *Journal of Contemporary Asia*, 35(4):485–498.
- [Bai, 2005] Bai, C. (2005). Global voices of science. Ascent of nanoscience in China. *Science*, 309:61–63.
- [Barbash, 2015] Barbash, F. (2015). Major publisher retracts 43 scientific papers amid wider fake peer-review scandal.
- [Baty, 2010] Baty, P. (2010). THE World University Rankings. The Times Higher Education.
- [Berberoglu, 1987] Berberoglu, B. (1987). The Soviet Union and China: A Comparative Analysis of Their Stages of Economic Development. *International Review of Modern Sociology*, 17(2):285–286.
- [Bhattacharya, 2004] Bhattacharya, S. (2004). Mapping inventive activity and technological change through patent analysis: A case study of India and China. *Scientometrics*, 61(3):361–381.
- [Bhattacharya and Bhati, 2011] Bhattacharya, S. and Bhati, M. (2011). China's Emergence as a Global Nanotech Player: Lessons for Countries in Transition. *China Report*, 47(4):243–262.
- [Bhattacharya et al., 2012] Bhattacharya, S., Shilpa, and Bhati, M. (2012). China and India: The two new players in the nanotechnology race. *Scientometrics*, 93(1):59–87.
- [Brand, 2010] Brand, L. (2010). Report on statistical patent analysis. Technical report, Observatory NANO.

- [Brandt and Rawski, 2008] Brandt, L. and Rawski, T. G. (2008). China's great economic transformation. *China Business Review*, 35(6):30–33.
- [Bransetter, 2008] Bransetter, L. (2008). China's embrace of globalization. In Brandt, L. and Rawski, T. G., editors, *China's Great Transformation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [Braun et al., 1993] Braun, T., Glaenzel, W., and Schubert, A. (1993). Scientometric indicators datafiles. *Scientometrics*, 28(2):137–150.
- [C-BERT, 2014] C-BERT (2014). Cross-Border Education Research Team (C-BERT) at the State University of New York at Albany.
- [Cai, 2002] Cai, H. (2002). Deploying the Chinese knowledge diaspora: A case study of the 211 Project at Peking University. In Yu, K. and Stith, A., editors, *Competition and cooperation among universities in the age of internationalization: Proceedings of the AC21 International Forum 2010*, pages 268–288.
- [Cao, 2002] Cao, C. (2002). Strengthening China Through Science and Education: China's Development Strategy Toward the Twenty-First Century. *Issues and Studies*, 38(3):122–149.
- [Cao et al., 2013] Cao, C., Appelbaum, R. P., and Parker, R. (2013). Research is high and the market is far away: Commercialization of nanotechnology in China. *Technology in Society*, 35(1):55–64.
- [Cao et al., 2006] Cao, C., Suttmeier, R. P., and Simon, D. F. (2006). China's 15-year science and technology plan. *Physics Today*, 59(12):38–43.

- [CENTRA Technology Inc., 2011] CENTRA Technology Inc. (2011). China 's Program for Science and Technology Modernization : Implications for American Competitiveness. Technical report.
- [Chang, 1996] Chang, M. (1996). The thought of Deng Xiaoping. *Communist and Post-Communist Studies*, 29(4):377–394.
- [Chang and Shih, 2003] Chang, P. and Shih, H. (2003). A brief introduction to China hi-tech fair.
- [Chen, 2011] Chen, D. (2011). Internationalisation of higher education in China and its development direction. *Higher Education Studies*, 1(1):79–83.
- [Chen, 2004] Chen, D. Y. (2004). China's Mass Higher Education: Problem, Analysis, and Solutions. *Asia Pacific Education Review*, 5(1):23–33.
- [Chen, 1990] Chen, S. (1990). Socio-Economic Change in China in Relation with Rapid Progress in Science and Technology. *International Federation of Social Science Organizations Newsletter*, 24:103–107.
- [Cheng and Wang, 2012] Cheng, Y. and Wang, Q. (2012). Building world-class universities in Mainland China. *Journal of International Higher Education*, 5(2):67–69.
- [CHERPA, 2010] CHERPA (2010). Design phase of the project design and testing the feasibility of a multi-dimensional global university ranking, U-Multirank Interim Progress Report. Technical report.
- [Chesbrough, 2003] Chesbrough, H. W. (2003). The era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review*, pages 35–42.

[China Education Center, 2015] China Education Center (2015). China Education Center.

[China Scholarship Council, 2013] China Scholarship Council (2013). China's new national education plan aims to build a country with rich human resources.

[ChineseEmbassy, 2006] ChineseEmbassy (2006). EU replaces U.S. as biggest trading partner of China.

[Chiu and Lewis, 2006] Chiu, B. and Lewis, M. K. (2006). *Reforming China's State Owned Enterprises and Banks*. Edward Elgar Publishing, Northampton, MA.

[Cientifica, 2009] Cientifica (2009). *Nanotechnology takes a deep breath and prepares to save the world: global nanotechnology funding in 2009*. Cientifica Ltd, London.

[Clunan and Rodine-Hardy, 2014] Clunan, A. and Rodine-Hardy, K. (2014). Nanotechnology in a Globalized World Strategic Assessments of an Emerging Technology. Technical report, Northeastern University, Naval Postgraduate School Center on Contemporary Conflict and Defense Threat Reduction Agency.

[Cohen and Soto, 2007] Cohen, D. and Soto, M. (2007). Growth and Human Capital: Godd Data, God Results. *Journal of Economic Growth*, 12(1):51–76.

[Cole and Eales, 1917] Cole, F. and Eales, N. (1917). The history of comparative anatomy. Part I: A statistical analysis of the literature. *Science Progress*, 11:578–596.

- [Cornell University, 2013] Cornell University (2013). The Global Innovation Index 2013: The Local Dynamics of Innovation. Technical report, Geneva.
- [Cowan and Jonard, 2004] Cowan, R. and Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(8):1557–1575.
- [Cyranoski, 2010] Cyranoski, D. (2010). Strong medicine for China’s journals. *Nature*, (467):261–261.
- [Cyranoski, 2012] Cyranoski, D. (2012). Chinese publishers vow to cleanse journals. Editors swear allegiance to scientific integrity. *Nature*, 25 April 2012.
- [Dang, 2011] Dang, Q. (2011). *Internationalisation of higher education. China and Vietnam: from importers of education to partners in cooperation*. PhD thesis, Copenhagen Business School.
- [Dang, 2009] Dang, Y. (2009). Trends in worldwide nanotechnology patent applications: 1991-2008. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(3):687–706.
- [Deng, 1975] Deng, X. (1975). Priority should be given to scientific research (26 September 1975).
- [Deng, 1978] Deng, X. (1978). Speech at the opening ceremony of the National Conference on Science (18 March 1978).
- [Deng, 1985] Deng, X. (1985). The reform of the system for managing science and technology is designed to liberate the productive forces (7 March 1985).

- [Dikoetter, 2010] Dikoetter, F. (2010). *Mao's Great Famine: The History of China's Most Devastating Catastrophe, 1958-62*. Bloomsbury Publishing.
- [Dobbs et al., 2012] Dobbs, R., Madgavkar, A., Barton, D., and Labaye, E. (2012). *The World at Work: Jobs, Pay and Skills for 3.5 Billion People*. Technical report, MacKinsey Global Institute.
- [Dobrov and Korennoi, 1969] Dobrov, G. and Korennoi, A. (1969). The information basis of scientometrics. In Michailov, A., editor, *On theoretical problems of informatics*, pages 165–191. Fédération Internationale de la Documentation, All-Union Institute for Scientific and Technical Information (VINITI), Moscow.
- [Docquier et al., 2009] Docquier, F., Lowell, B., and Marfouk, A. (2009). A gendered assessment of highly skilled emigration. *Population and Development Review*, 35(2):297–321.
- [Downes et al., 2012] Downes, M., Wey, Y. T., and Zhou, A. (2012). *Elite Universities in China & the Technology Sector: A Policy Analysis Report*. PhD thesis, Gerald R. Ford School of Public Policy, University of Michigan.
- [Drexler, 1981] Drexler, K. E. (1981). Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 78(9):5275–5278.
- [Egghe and Rousseau, 2002] Egghe, L. and Rousseau, R. (2002). A general framework for relative impact indicators. *The Canadian Journal of Information and Library Science*, 27(1):29–48.

- [Elzinga, 1987] Elzinga, A. (1987). *Science and Technology Transfer During the Cultural Revolution in the People's Republic of China*. mimeograph, Gothenburg.
- [European Commission, 2010] European Commission (2010). Europe 2020 strategy. Technical report.
- [European Commission, 2014] European Commission (2014). Facts and figures on EU-China trade. Technical report.
- [Falkner and Jaspers, 2012] Falkner, R. and Jaspers, N. (2012). Regulating Nanotechnologies: Risk, Uncertainty and the Global Governance Gap. *Global Environmental Politics*, 12(1):30–55.
- [Farrell and Grant, 2005] Farrell, D. and Grant, A. (2005). Addressing China's Looming Talent Shortage. Technical report, MacKinsey.
- [Fiegner, 2009] Fiegner, M. K. (2009). Doctorate Recipients from U.S. Universities: Summary Report 2007-08. Technical report.
- [Finish National Board of Education, 2005] Finish National Board of Education (2005). Higher Education in the People's Republic of China. Technical report, Finish National Board of Education.
- [Frame, 1977] Frame, J. (1977). Mainstream research in Latin America and the Caribbean. *Interciencia*, 2:143–148.
- [Garfield and Welljams-Dorof, 1992] Garfield, E. and Welljams-Dorof, A. (1992). Citation data: their use as quantitative indicators for science and technology evaluation and policy-making. *Science and Public Policy*, 19(5):321–327.

- [Glaenzel, 2000] Glaenzel, W. (2000). Science in Scandinavia: A bibliometric approach. *Scientometrics*, 48(2):121–150.
- [Glaenzel, 2001] Glaenzel, W. (2001). National characteristics in international scientific co-authorship relations. *Scientometrics*, 51(1):69–115.
- [Glaenzel, 2008] Glaenzel, W. (2008). Seven myths in bibliometrics. About facts and fiction in quantitative science studies. In Kretschmer, H. and Havemann, F., editors, *Proceedings of WIS 2008, Fourth International Conference on Webometrics, Informetrics and Scientometrics and Ninth COLLNET Meeting*. Humboldt University, Berlin.
- [Goldman, 1978] Goldman, M. (1978). Deng Xiaoping and the debate over science and technology. *Contemporary China*, 2(4):46–69.
- [Grueber and Studt, 2011] Grueber, M. and Studt, T. (2011). 2012 Global R&D funding forecast. Technical Report December 2011.
- [Gu, 2008] Gu, B. (2008). Speech at Tsinghua University 2007 year teaching and research prize-giving ceremony.
- [Gu, 1995] Gu, S. (1995). A Review of Reform Policy for the S&T System in China: from Paid Transactions for Technology to Organizational Restructuring.
- [Guan and Gao, 2008] Guan, J. and Gao, X. (2008). Comparison and evaluation of Chinese research performance in the field of bioinformatics. *Scientometrics*, 75(2):357–379.

- [Guan and He, 2007] Guan, J. and He, Y. (2007). Patent-bibliometric analysis on the Chinese science - Technology linkages. *Scientometrics*, 72(3):403–425.
- [Gupta and Dhawan, 2003] Gupta, B. M. and Dhawan, S. M. (2003). India's collaboration with People's Republic of China in science and technology: A scientometric analysis of coauthored papers during 1994-1999. *Scientometrics*, 57(1):59–74.
- [Hao and Gong, 2006] Hao, X. and Gong, Y. (2006). China bets big on big science. *Science*, 331:1548–1549.
- [Hatto, 2009] Hatto, P. (2009). *Updates on standarization for nanotechnologies*. DEFRA nanotechnology stakeholder forum, London.
- [Hayhoe, 1989] Hayhoe, R. (1989). *China's Universities and the Open Door*. M.E. Sharpe, Armonk, N.Y.
- [Hayhoe and Li, 2012] Hayhoe, R. and Li, J. (2012). Institutional Diversity in Chinese Higher Education. *International Higher Education*, 66:22–24.
- [He, 2009] He, T. (2009). International scientific collaboration of China with the G7 countries. *Scientometrics*, 80(3):571–582.
- [He et al., 2005] He, T., Zhang, J., and Teng, L. (2005). Basic research in biochemistry and molecular biology in China: A bibliometric analysis. *Scientometrics*, 62(2):249–259.
- [He and Guan, 2008] He, Y. and Guan, J. (2008). Contribution of Chinese publications in computer science: A case study on LNCS. *Scientometrics*, 75(3):519–534.

- [Heston and Sicular, 2008] Heston, A. and Sicular, T. (2008). China and development economics. In Brandt, L. and Rawski, T. G., editors, *China's Great Transformation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [Hood and Wilson, 2001] Hood, W. W. and Wilson, C. S. (2001). The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. *Scientometrics*, 52(2):291–314.
- [Horta and Veloso, 2007] Horta, H. and Veloso, F. (2007). Opening the box: comparing EU and US scientific output by scientific field. *Technological Forecasting and Social Change*, 74:1336–1356.
- [Hu, 2012] Hu, M. (2012). Nanotechnology development in Mainland China. In *Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Technology and Society in Asia*.
- [Hu and Rousseau, 2009] Hu, X. and Rousseau, R. (2009). A comparative study of the difference in research performance in biomedical fields among selected Western and Asian countries. *Scientometrics*, 81(2):475–491.
- [Huang, 2010] Huang, C. (2010). Sure bet or scientometric mirage?: an assessment of Chinese progress in nanotechnology.
- [Huang et al., 2004] Huang, C., Amorim, C., Spinoglio, M., Gouveia, B., and Medina, A. (2004). Organization, programme and structure: an analysis of the Chinese innovation policy framework. *Research and Development Management*, 34(4):367–387.
- [Huang and Wu, 2012] Huang, C. and Wu, Y. (2012). State-led Technological Development: A Case of China's Nanotechnology Develop-

ment. *World Development*, 40(5):970–982.

[Huang, 2008] Huang, J. (2008). Agriculture in China's Development: Past Disappointments, Recent Successes, and Future Challenges. In Brandt, L. and Rawski, T. G., editors, *China's Great Transformation*. Cambridge University Press, Cambridge.

[Hullman, 2007] Hullman, A. (2007). Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*, 70(3):739–758.

[Hullman and Meyer, 2003] Hullman, A. and Meyer, M. (2003). Publications and patents in nanotechnology. An overview of previous studies and the state of the art. *Scientometrics*, 58(3):507–527.

[Hulme, 1923] Hulme, E. (1923). *Statistical bibliography in relation to the growth of modern civilization*. Grafton & Co, London.

[IHS Markit, 2014] IHS Markit (2014). World Industry Service Database.

[Iversen, 2000] Iversen, E. J. (2000). An excursion into the patent-bibliometrics of Norwegian patenting. *Scientometrics*, 49(1):63–80.

[Jarvis and Richmond, 2013] Jarvis, D. S. and Richmond, N. (2013). Regulating Nanotechnology in China. Governance, risk management and regulatory effectiveness. In Howlett, M. and Laycock, D., editors, *Regulating Next Generation Agri-Food Biotechnologies*. Routledge.

[Jiang, 2011] Jiang, J. (2011). Chinese science ministry increases funding. *Nature*, 515.

- [Juma and Yee-Cheong, 2005] Juma, C. and Yee-Cheong, L. (2005). *Innovation: Applying Knowledge in Development. Task Force on Science, Technology and Innovation*, volume 1. Earthscan Publishing., London.
- [Kanama and Kondo, 2007] Kanama, D. and Kondo, A. (2007). Analysis of Japan's nanotechnology competitiveness. Concern for declining competitiveness and challenges for nanosystematization. *Science and Technology Trends Quarterly Review*, 25:36–49.
- [King, 2004] King, D. (2004). The scientific impact of nations. *Nature*, 430:311–316.
- [Kirkland, 1961] Kirkland, E. (1961). *Industry Comes of Age: Business, Labor and Public Policy, 1860 - 1897*. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- [Knight, 2004] Knight, J. (2004). Internationalization Remodeled: Definition, Approaches, and Rationales. *Journal of Studies in International Education*, 8(5):5–31.
- [Kostoff, 2007] Kostoff, R. (2007). DTIC technical report, number ADA 461930. Technical report, Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, VA.
- [Kuznets, 1988] Kuznets, P. (1988). An East Asian Model of Economic Development: Japan, Taiwan, and South Korea. *Economic Development and Cultural Change*, 36(3):10–43.
- [Larivière and Gingras, 2009] Larivière, V. and Gingras, Y. (2009). The Decline in the Concentration of Citations, 1900 - 2007. *Journal of the*

*American Society for Information Science and Technology*, 60(4):858–862.

[Leong, 2013] Leong, C. K. (2013). Special economic zones and growth in China and India: An empirical investigation. *International Economics and Economic Policy*, 10(4):549–567.

[Leydesdorff, 2012] Leydesdorff, L. (2012). World shares of publications of the USA, EU-27, and China compared and predicted using the new Web of Science interface versus Scopus. *El Profesional de la Informacion*, 21(1):43–49.

[Leydesdorff and Etzkowitz, 1996] Leydesdorff, L. and Etzkowitz, H. (1996). Emergence of a triple helix of university-industry-government relations. *Science and Public Policy*, 23(5):279–286.

[Leydesdorff and Etzkowitz, 1998] Leydesdorff, L. and Etzkowitz, H. (1998). The Triple Helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy Beech Tree Publishing*, 25(3):195–203.

[Leydesdorff and Zhou, 2005] Leydesdorff, L. and Zhou, P. (2005). Are the contributions of China and Korea upsetting the world system of science? *Scientometrics*, 63(3):617–630.

[Li, 2004] Li, L. (2004). China's Higher Education Reform 1998-2003: a Summary. *Asia Pacific Education Review*, 5(1):14–22.

[Li, 2015] Li, Y. (2015). Publish SCI papers or no degree: practices of Chinese doctoral supervisors in response to the publication pressure on science students. *Asia Pacific Journal of Education*.

- [Li et al., 2008] Li, Y., Whalley, J., Zhang, S., and Zhao, X. (2008). The higher educational transformation of China and its global implications. Technical report, NBER Working Paper 13849.
- [Lim, 2004] Lim, K. (2004). The relationship between research and innovation in the semiconductor and pharmaceutical industries 1981-1997. *Research Policy*, 33:287–321.
- [Liu, 2011] Liu, H. (2011). Internationalizing Chinese Higher Education Institutions. Technical report, The University of British Columbia.
- [Liu and Jiang, 2001] Liu, H. and Jiang, Y. (2001). Technology transfer from higher education institutions to industry in China: Nature and implications. *Technovation*, 21(3):175–188.
- [Liu, 2004] Liu, L. (2004). Deng Xiaoping thoughts on science and technology and the CCPCC's science and technology policy in the new era. *China Forum on Science and Technology*, 3:9–12.
- [Liu, 2009] Liu, L. (2009). *Emerging nanotechnology power: Nanotechnology research and development and business trends in the Asia Pacific rim*. World Scientific Publishing, Singapore.
- [Liu and Cheng, 2005] Liu, N. and Cheng, Y. (2005). Academic ranking of world universities: methodologies and problems. *Higher Education in Europe*, 30(2).
- [Liu et al., 2003] Liu, N., Liu, L., Cheng, Y., and Wan, T. (2003). From 985 project to World-class University. *China's Higher Education*, 17:22–24.

- [Liu and White, 2001] Liu, X. and White, S. (2001). Comparing innovation systems: A framework and application to China's transitional context. *Research Policy*, 30(7):1091–1114.
- [Liu et al., 2011] Liu, Y., Duan, Y., Xiao, G., and Tang, L. (2011). Science and technology policy evolution a comparison between the US and China (1950-present). In *2011 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy*, pages 1–17.
- [Loren et al., 2008] Loren, B., Rawski, T., and John, S. (2008). *China's industrial development*. Cambridge University Press.
- [Macgregor, 2010] Macgregor, J. (2010). China's Drive for Indigenous Innovation. A Web of Industrial Policies. Technical report.
- [Madhan et al., 2010a] Madhan, M., Chandrasekar, G., and Arunachalam, S. (2010a). Highly cited papers from India and China. *Current Science*, 99(6):738–749.
- [Madhan et al., 2010b] Madhan, M., Chandrasekar, G., and Arunachalam, S. (2010b). Highly cited papers from India and China. *Current Science*, 99(6):738–749.
- [Marginson, 2010] Marginson, S. (2010). Higher education in East Asia and Singapore: rise of the Confucian model. *Higher Education*, 61(5):587–611.
- [Marszal, 2012] Marszal, A. (2012). University rankings: which world university rankings should we trust? Daily Telegraph, 4 October 2012.
- [Martin and Irvine, 1983] Martin, B. and Irvine, J. (1983). A bibliometric study on the trend in articles related to risk assessment published

- in science citation index. *Human and Ecological Risk Assessment*, 16(4):801–824.
- [Mayntz, 1998] Mayntz, R. (1998). Socialist academies of sciences: the enforced orientation of basic research at user needs. *Research Policy*, 27(8):781–791.
- [Merisotis, 2002] Merisotis, J. P. (2002). On the Ranking of Higher Education Institutions. *Higher Education in Europe*, 27(4):361–363.
- [Meyer, 2006] Meyer, M. (2006). Are patenting scientists the better scholars?. An exploratory comparison of inventor-authors with their non-inventing peers in nano-science and technology. *Research Policy*, 35(10):1646–1662.
- [Minguillo et al., 2015] Minguillo, D., Tijssen, R., and Thelwall, M. (2015). Do science parks promote research and technology? A scientometric analysis of the UK. *Scientometrics*, 102(1):701–725.
- [Miyazakia and Islam, 2007] Miyazakia, K. and Islam, N. (2007). A nanotechnology system of innovation: An analysis of industry and academia research activities. *Technovation*, 27(11):661–675.
- [MOE, 2004] MOE (2004). Achievements of the returned overseas-trained Chinese. In *Exhibition for Achievements of Start-up by Returned Overseas-trained Chinese*. Ministry of Education of the People’s Republic of China.
- [MOE, 2013] MOE (2013). 2012 College Students statistics. Technical report, Ministry of Education of the People’s Republic of China.

- [MOE, 2015a] MOE (2015a). 2014 Statistics of Foreign Students in China. Technical report, Ministry of Education of the People's Republic of China.
- [MOE, 2015b] MOE (2015b). 2015 Chinese College Graduates Employment Report. Technical report, Ministry of Education of the People's Republic of China.
- [MOE, 2015c] MOE (2015c). 2015 National College List. Technical report, Ministry of Education of the People's Republic of China.
- [Moed, 2005] Moed, H. F. (2005). *Citation Analysis in Research Evaluation*. Springer Netherlands.
- [Moed et al., 1985] Moed, H. F., Burger, W. J. M., Frankfort, J. G., and Van Raan, A. F. J. (1985). The use of bibliometric data for the measurement of university research performance. *Research Policy*, 14(3):131–149.
- [Mohrman et al., 2008] Mohrman, K., Ma, W., and Baker, D. (2008). The Research University in Transition: The Emerging Global Model. *Higher Education Policy*, 21:5–27.
- [Moiwo and Tao, 2013] Moiwo, J. P. and Tao, F. (2013). The changing dynamics in citation index publication position China in a race with the USA for global leadership. *Scientometrics*, 95(3):1031–1050.
- [MoST, 2011] MoST (2011). *National Nanotechnology Development Strategy*. Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing.

- [Motoyama et al., 2014] Motoyama, Y., Cao, C., and Appelbaum, R. (2014). Observing regional divergence of Chinese nanotechnology centers. *Technological Forecasting and Social Change*, 81(1):11–21.
- [Nacke, 1979] Nacke, O. (1979). Informetrie: Ein neuer Name für eine neue Disziplin. *Nachrichten für Dokumentation*, 30(6):219–226.
- [National Science Board 2014, 2014] National Science Board 2014 (2014). Science & Engineering Indicators 2014. Technical report, National Science Foundation (NSB 14-01), Arlington VA.
- [Nature, 2013] Nature (2013). China boosts top quality science publications by 35{ %} in 2012.
- [Naughton, 2007] Naughton, B. (2007). *The Chinese Economy: Transitions and Growth*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [Nelson, 1993] Nelson, R. (1993). *National Innovation System*. Oxford University Press, New York.
- [NNI, 2012] NNI (2012). What it is and how it works,.
- [OECD, 2006] OECD (2006). Education Policy Analysis: Focus on Higher Education: 2005-2006. Technical report, Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- [OECD, 2008] OECD (2008). OECD reviews of innovation policy: China. Technical report, OECD, Paris.
- [OECD, 2008] OECD (2008). OECD reviews of innovation policy: China. Technical report, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

- [OECD, 2013] OECD (2013). Education at a Glance 2013. Technical report, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [OECD, 2016] OECD (2016). Main Science and Technology Indicators. Technical report, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [Peng, 2011] Peng, C. (2011). Focus on quality, not just quantity. *Nature*, 475:267.
- [People's Daily, 1951] People's Daily (1951). Constitución del Congreso Consultivo del Pueblo Chino.
- [People's Daily, 2008] People's Daily (2008). Over 10 billion Yuan to be invested in 211 Project.
- [Perlo-Freeman et al., 2016] Perlo-Freeman, S., Fleurant, A., Wezeman, P., and Wezeman, S. (2016). Trends in World Military Expenditure.
- [Phalkey and Wang, 2006] Phalkey, J. and Wang, Z. (2006). Planning for Science in China and India. *British Journal for the History of Science - Themes*, 1(1).
- [Poo, 2004] Poo, M. (2004). *Nature (Supplement China Voices)*, 432:A18.
- [Porter and Cunningham, 1997] Porter, A. and Cunningham, S. (1997). Whither nanotechnology? A bibliometric study. *Foresight Update*, 21.
- [Porter and Youtie, 2008] Porter, A. and Youtie, J. (2008). How interdisciplinary is nanotechnology? *Journal of Nanoparticle Research*, 11(5):1023–1041.

- [Porter et al., 2007] Porter, A. L., Youtie, J., Shapira, P., and Schoeneck, D. J. (2007). Refining search terms for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(5):715–728.
- [Porter, 2008] Porter, W. (2008). Nanotechnology law report.
- [Pouris, 1989] Pouris, A. (1989). Strengths and weaknesses of South African science. *South African Journal of Science*, 85(10):623–626.
- [Preschitshek and Besser, 2010] Preschitshek, N. and Besser, D. (2010). Nanotechnology patenting in China and Germany: a comparison patent landscapes by bibliographic analysis. *Journal of Business Chemistry*, 7(1):3–13.
- [Price, 1963] Price, D. (1963). *Little science, big science*. Columbia University Press, New York.
- [Pritchard, 1969] Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography or Bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4):348–349.
- [Qiang, 1996] Qiang, L. (1996). China's higher education under reform. *International Journal of Educational Management*, 10(2):17–20.
- [Qingnian et al., 2012] Qingnian, X., Duanhong, Z., and Hong, L. (2012). Governance Reform at China's "985 Project" Universities. *Chinese Education & Society*, 44(5):31–40.
- [Qiu, 2010] Qiu, J. (2010). Publish or perish in China. *Nature*, 463:142–143.
- [Qiu, 2014] Qiu, J. (2014). China goes back to basics on research funding. *Nature*, 507:148–149.

- [QS, 2015] QS (2015). Quacquarelli Symonds (QS) World University Rankings 2014-15.
- [Ramani, 2014] Ramani, S. (2014). *Nanotechnology and Development: What's in it for Emerging Countries*. Cambridge University Press, New York.
- [Rauhvargers, 2013] Rauhvargers, A. (2013). Global University Rankings and their Impact. Technical report, European University Association, Brussels.
- [Rinia et al., 1998] Rinia, E. J., Van Leeuwen, T. N., Van Vuren, H. G., and Van Raan, A. F. J. (1998). Comparative analysis of a set of bibliometric indicators and central peer review criteria Evaluation of condensed matter physics in the Netherlands. *Research Policy*, 27(1):95–107.
- [Riskin, 1987] Riskin, C. (1987). *China's Political Economy: The Quest for Development Since 1949*. Oxford University Press, Oxford.
- [Rizvi and Lingard, 2006] Rizvi, F. and Lingard, B. (2006). Globalisation and the changing nature of the OECD's educational work. In Launder, H., Brown, P., Dillabough, J., and Halsey, A., editors, *Education, Globalisation and Social Change*. Oxford University Press, Oxford.
- [Royal Society, 2011] Royal Society (2011). Knowledge, networks and nations: global scientific collaboration in the twenty first century,. Technical report, Royal Society, London.
- [Saich, 1989] Saich, T. (1989). *Science Policy in the 80s*. Manchester University Press, Manchester.

- [Schubert and Braun, 1986] Schubert, A. and Braun, T. (1986). Relative indicators and relational charts for comparative assessment of publication output and citation impact. *Scientometrics*, 9:281–291.
- [Schubert et al., 1989] Schubert, A., Glaenzel, W., and Braun, T. (1989). Scientometric datafiles: a comprehensive set of indicators on 2649 journals and 96 countries in all major science fields and subfields 1981-1985. *Scientometrics*, 16(1):34–78.
- [Scissors, 2009] Scissors, D. (2009). Deng Undone: The Costs of Halting Market Reform in China. *Foreign Affairs*, 88(3).
- [Scott, 2003] Scott, P. (2003). Challenges to Academic Values and the Organization of Academic Work in a Time of Globalization. *Higher Education in Europe*, 28(3):295–306.
- [Seife, 2014] Seife, C. (2014). For Sale: Your Name Here in a Prestigious Science Journal An investigation into some scientific papers finds worrying irregularities. *Scientific American*.
- [Shapira and Wang, 2009] Shapira, P. and Wang, J. (2009). From lab to market? Strategies and issues in the commercialization of nanotechnology in China. *Asian Business and Management*, 8(4):461–489.
- [Shapira and Youtie, 2012] Shapira, P. and Youtie, J. (2012). The economic contributions of nanotechnology to green and sustainable growth. In *Green Processes for Nanotechnology: From Inorganic to Bioinspired Nanomaterials*, pages 409–434. International Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology, Organisation for Economic Cooperation and Development and the US National Nanotechnology Initiative, Washington DC, 27-28 March 2012.

- [Sharma, 2011] Sharma, Y. (2011). China: Crackdown on sub-standard journals. *University World News* 160.
- [Sheeky, 2013] Sheeky, K. (2013). Explore the world's top universities, U.S. News & World Report.
- [Shelton et al., 2007] Shelton, R., Foland, P., and Gorelsky, R. (2007). Do new SCI journals have a different national bias? In Torres-Salinas, D. and Moed, H. F., editors, *Proceedings of ISSI 2007*, pages 708–717.
- [Shelton and Holdridge, 2004] Shelton, R. and Holdridge, G. (2004). The US-EU race for leadership in science and technology: qualitative and quantitative indicators. *Scientometrics*, 60:353–363.
- [Shyu et al., 2001] Shyu, J. Z., Chiu, Y. C., and Yuo, C. C. (2001). A cross-national comparative analysis of innovation policy in the integrated circuit industry. *Technology in Society*, 23(2):227–240.
- [Simon, 1984] Simon, D. F. (1984). Chinese-Style Science and Technology Modernization: A Comparison of PRC and Taiwan Approaches. *Studies in Comparative Communism*, XVII(2):87–109.
- [Simon, 1989] Simon, D. F. (1989). Technology Transfer and China's Emerging Role in the World Economy. In Simon, D. F. and Goldman, M., editors, *Science and Technology in Post-Mao China*, pages 289–318. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- [Sonmez, 2015] Sonmez, F. (2015). Fake Peer Review Scandal Shines Spotlight in China. *Wall Street Journal*.
- [Springut et al., 2011] Springut, M., Schlaikjer, S., and Chen, D. (2011). China's Program for Science and Technology Modernization: Implica-

tions for American Competitiveness,. Technical report, Prepared for the U.S.-China Economic and Security Review Commission.

[State Council, 2006] State Council (2006). *Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006-2020)*. State Council of China, Beijing.

[Suttmeier, 1980a] Suttmeier, R. P. (1980a). Science Policy and Organization. In Orleans, L., editor, *Science in Contemporary China*. Stanford University Press.

[Suttmeier, 1980b] Suttmeier, R. P. (1980b). *Science, Technology and China's Drive for Modernization*,. Hoover International Studies, Hoover Institution Press, Stanford University.

[Suttmeier, 1986] Suttmeier, R. P. (1986). Overviews. Science and Technology under Reform. In Joint Economic Committee. Congress of the United States, editor, *China's Economy Looks Toward the Year 2000*, Vol. 2, pages 199–215. U.S. Government, Washington D.C.

[Suttmeier, 1989] Suttmeier, R. P. (1989). Science, Technology and China's Political Future -A Framework for Analysis. In Simon, D. F. and Goldman, M., editors, *Science and Technology in Post-Mao China*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

[Suttmeier, 2010] Suttmeier, R. P. (2010). Hearing on Will China Protect Intellectual Property? New Developments in Counterfeiting, Piracy, and Forced Technology Transfer. Congressional-Executive Commission on China, Washington D.C.

- [Suttmeier and Cao, 1999] Suttmeier, R. P. and Cao, C. (1999). China faces the new industrial revolution: achievement and uncertainty in the search for research and innovation strategies. *Asian Perspective*, 23(3):153–200.
- [Tang and Shapira, 2011] Tang, L. and Shapira, P. (2011). Regional development and interregional collaboration in the growth of nanotechnology research in China. *Scientometrics*, 86(2):299–315.
- [Taniguchi and Others, 1974] Taniguchi, N. and Others (1974). On the basic concept of nanotechnology. *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering*, pages 18–23.
- [Tatlow, 2011] Tatlow, D. (2011). More Stimulus May Not Be an Option for China. *The New York Times*.
- [Tian, 2003] Tian, Z. (2003). Thoughts on Chinese scholarly journals' current condition and development. *Journal of Liaoning Technical University (Social Science Education)*, 5(1):107–109.
- [Tsay, 2008] Tsay, M. Y. (2008). A bibliometric analysis of hydrogen energy literature, 1965-2005. *Scientometrics*, 75(3):421–438.
- [Tyfeld et al., 2009] Tyfeld, D., Zhu, Y., and Cao, J. (2009). The importance of the international collaboration dividend: The case of China. *Science and Public Policy*, 36(9):723–735.
- [UNESCO, 1998] UNESCO (1998). Higher Education for a New Society: A Student Vision. Technical report, UNESCO, Paris.
- [UNESCO, 2013] UNESCO (2013). The international mobility of students in Asia and the Pacific. Technical report, UNESCO, Bangkok.

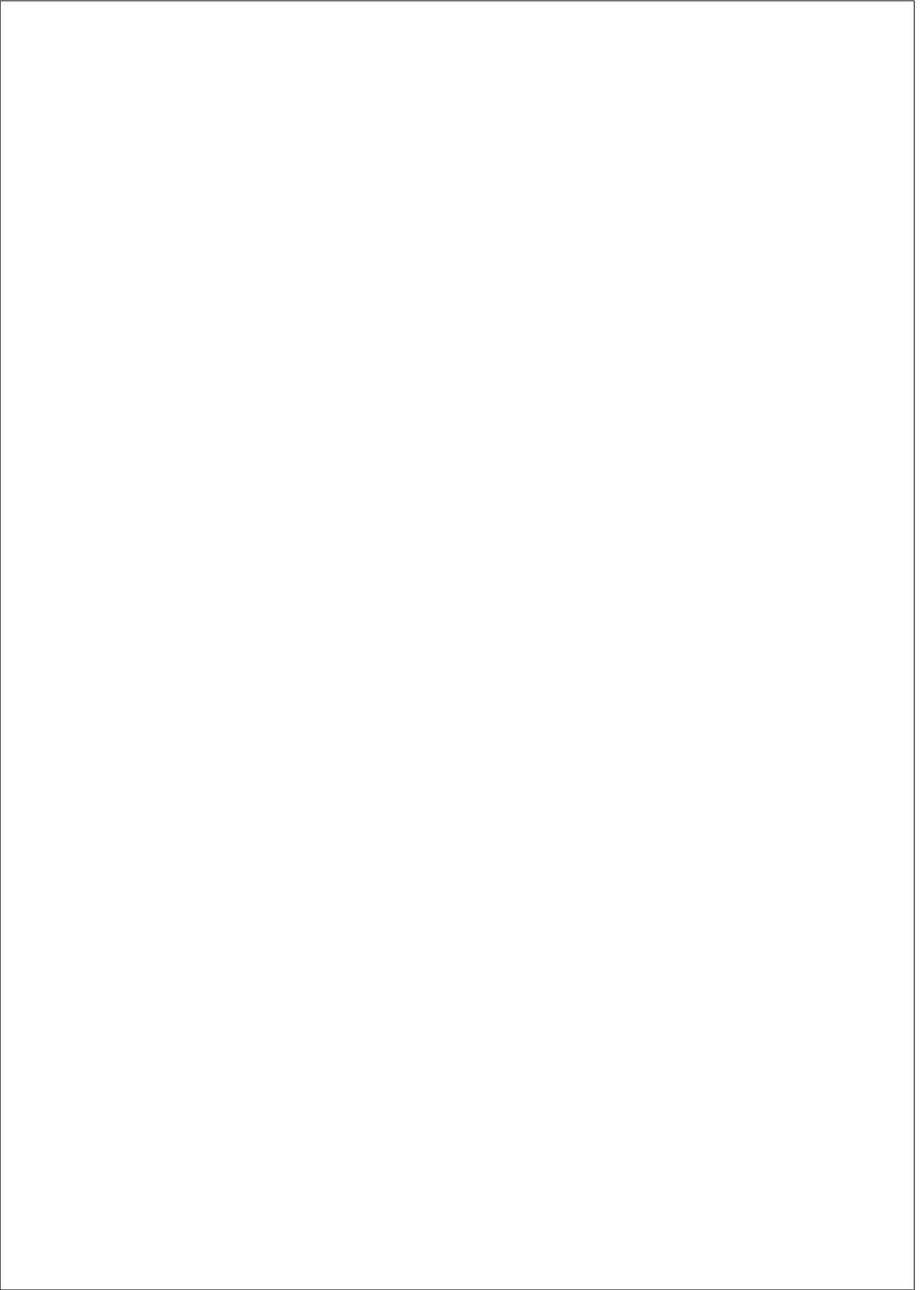
- [Usher and Savino, 2006] Usher, A. and Savino, M. (2006). A world of difference: A global survey of university league tables. Technical Report January, The Educational Policy Institute.
- [Van Raan, 1997] Van Raan, A. F. J. (1997). Scientometrics: State-of-the-art. *Scientometrics*, 38(1):205–218.
- [Van Raan, 2005] Van Raan, A. F. J. (2005). Fatal attraction: Conceptual and methodological problems in the ranking of universities by bibliometric methods. *Scientometrics*, 62(1):133–143.
- [Vance et al., 2015] Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella, M. F., and Hull, D. R. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1):1769–1780.
- [Verbeek et al., 2002] Verbeek, A., Debackere, K., Luwel, M., Andries, P., Zimmermann, E., and Deleus, F. (2002). Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes. *Scientometrics*, 54(3):399–420.
- [Vinkler, 1988] Vinkler, P. (1988). An attempt of surveying and classifying bibliometric indicators for scientometric purposes. *Scientometrics*, 13(5-6):239–259.
- [Vogel, 2011] Vogel, E. (2011). *Deng Xiaoping and the Transformation of China*. Belknap Press.
- [Volti, 1982a] Volti, R. (1982a). Science and Technology in Communist Systems: Introduction. *Studies in Comparative Communism*, XV(1):1–8.

- [Volti, 1982b] Volti, R. (1982b). Technology and Policy: The Dynamics and Dilemmas of Managed Change. *Studies in Comparative Communism*, XV(2):71–94.
- [Volti, 1982c] Volti, R. (1982c). *Technology, Politics and Society in China*. Westview Press, Boulder, Colorado.
- [Von Bubnoff, 2005] Von Bubnoff, A. (2005). Asia squeezes Europe's lead in science. *Nature*, 436:314.
- [Waechter, 2004] Waechter, B. E. (2004). Higher Education in a Changing Environment: Internationalisation of Higher Education Policy in Europe. Technical report, Lemmens, Bonn.
- [Wang, 2010a] Wang, D. (2010a). Course reorientation to enhance Chinese students' international awareness. In Maringe, F. and Foskett, N., editors, *Globalisation and Internationalisation in Higher Education: Theoretical, Strategic and Management Perspectives*. Continuum International Publishing Group, London.
- [Wang, 2010b] Wang, D. (2010b). Course Reorientation to Enhance Chinese Students' International Awareness. In Maringe, F. and Foskett, N., editors, *Globalisation and Internationalisation in Higher Education: Theoretical, Strategic and Management Perspectives*. Continuum International Publishing Group, London.
- [Wang and Zhou, 2011] Wang, H. and Zhou, Y. (2011). *China: Challenges for Higher Education in a High Growth Economy, Universities in Transition*. Springer, New York.

- [Wang and Tang, 2009] Wang, J. and Tang, L. (2009). ERAWATCH Research Inventory Report-China: Report to the European Commission. Technical report.
- [Wang, 1993] Wang, Y.-F. (1993). *China's Science and Technology Policy, 1949-1989*. Avebury, Newcastle upon Tyne.
- [Wang, 2015] Wang, Z. (2015). The Chinese developmental state during the Cold War: the making of the 12-year Science and Technology plan. *History and Technology International Journal*, 31(3):180–205.
- [Wong, 2010] Wong, G. (2010). China research hurt by plagiarism, faked results.
- [Wong, 2008] Wong, P. (2008). China's Fiscal system: a work in progress. In Brandt, L. and Rawski, T. G., editors, *China's Great Transformation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [World Bank, 2003] World Bank (2003). China - Promoting Growth with Equity : Country Economic Memorandum. Washington, DC. Technical report, World Bank.
- [WWI, 2005] WWI (2005). Project on Emerging Nanotechnologies database. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- [Xin and Yidong, 2006] Xin, H. and Yidong, G. (2006). China Bets Big on Big Science. *Science*, 311:1548–1549.
- [Xue, 1997] Xue, L. (1997). A historical perspective of China's innovation system reform: a case study. *Journal of Engineering Technology Management*, 14:67–81.

- [Yamazaki, 1994] Yamazaki, S. (1994). Research Activities in Life Sciences in Japan. *Scientometrics*, 29(2):181–190.
- [Yang and Welch, 2012] Yang, R. and Welch, A. (2012). A world-class university in China? The case of Tsinghua. *Higher Education*, 63(5):645–666.
- [Ye, 2010] Ye, F. (2010). The Two Engines that Drive Science in China. *Current Science*, 98(3):291.
- [Ye et al., 2012] Ye, X., Liu, Y., and Porter, A. L. (2012). International collaborative patterns in China's nanotechnology publications. *International Journal of Technology Management*, 59(3-4):255–272.
- [Ying, 2012] Ying, C. (2012). A Reflection on the Effects of the 985 Project. *Chinese Education & Society*, 44(5):19–30.
- [Youtie et al., 2008] Youtie, J., Shapira, P., and Porter, A. L. (2008). Nanotechnology publications and citations by leading countries and blocs. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(6):981–986.
- [Yu, 1999] Yu, Q. (1999). *The Implementation of China's Science and Technology Policy*. Quorum Books, Westport, CT.
- [Zhang et al., 2013] Zhang, H., Patton, D., and Kenney, M. (2013). Building global-class universities: Assessing the impact of the 985 Project. *Research Policy*, 42(3):765–775.
- [Zhang et al., 2003] Zhang, L., Zhi-Hua, L., Jia-Qin, W., and Min, W. (2003). China: Revitalizing Education in the 21st Century. *Human Rights Education in Asian Schools*, 3:103–113.

- [Zhao, 2007] Zhao, X. (2007). Returnees have become an important force in China's development. *People Online*.
- [Zhou and Leydesdorff, 2006] Zhou, P. and Leydesdorff, L. (2006). The emergence of China as a leading nation in science. *Research Policy*, 35(1):83–104.
- [Zhu, 2014] Zhu, L. (2014). China overtakes Japan in NPI rankings.
- [Zitt and Bassecouard, 2008] Zitt, M. and Bassecouard, E. (2008). Challenges for scientometric indicators: data demining, knowledge-flow measurement and diversity issues. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 8(5-7):49–60.



# Índice alfabético

- Academia China de Ciencias, 50, 61, 64, 67, 80, 82, 95, 199, 200  
    División Académica, 41, 53, 56  
Academia China de Ciencias Sociales, 59  
Academia China de Nanotecnología e Ingeniería, 201  
Academia de Ingeniería de China, 83, 95, 200  
Academia Nacional de Ciencias, 42  
Academia Sinica, 42  
Acuerdo General sobre el Comercio de Servicios, *véase* comercio  
Administración del Estado de Ciencia, Tecnología e Industria para la Defensa Nacional, 83  
administración local, 83, 92  
Alemania  
    índice de actividad, 174  
    artículos, 20, 140  
    Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo, 159  
    patentes, 142  
    productividad, 148  
    resultados de investigación, 144  
    asignación de puestos de trabajo, 92  
Asociación para la Ciencia y la Tecnología, 45  
Australia, 94  
    artículos, 20, 140  
    patentes, 142  
    productividad, 148  
Austria  
    artículos, 20, 140  
    patentes, 142  
Base China para la Industrialización en Nanotecnología, 201

Beijing, municipio, 219, 228, 246

bibliometría

- áreas, 155
- índice de actividad, 167, 208, 237, 245
- artículos científicos, 21, 115, 142, 164, 174, 232, 236
- centralidad, 204
- cienciometría, 10
- citas, 21, 115, 140, 239
- Essential Science Indicators, 152
- informetría, 10
- origen, 9
- patentes, 233
- revistas chinas, 19, 154
- revistas científicas, 151
- Science Citation Index, 152, 194, 196, 203
- Scopus (Elsevier), 19, 107, 164, 167, 169, 171
- Social Science Citation Index, 152
- Thomson Reuters, 19, 107, 116, 126, 138, 152

Brasil

- artículos, 20, 140
- patentes, 142

Caminar sobre las dos piernas, 45

Canadá, 94, 144, 148, 150, 173, 178, 185

- índice de actividad, 174
- artículos, 20, 140

Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo, 159

- patentes, 142, 161
- productividad, 148
- resultados de investigación, 144

Centro Nacional de Nanociencia y Nanotecnología, 225

Chen Yun, 67

- ciencia de materiales, 209
- ciencia de polímeros, 209, 245
- cienciometría, *véase* bibliometría

comercio, 35, 51, 54

- Acuerdo General sobre el Comercio de Servicios, 119
- exportaciones, 133
- Organización Mundial del Comercio, 71

Comisión de Estatal Planificación Científica, 45

Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología, *véase* Ministerio de Ciencia y Tecnología

Comisión Estatal de Ciencia y Tec-

nología , 45

Comisión Estatal de Planificación Científica, 42

Comisión Estatal para la Ciencia y la Tecnología, 55, 59

Comisión Europea, 95  
estrategia Europa 2020, 128

Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología para la Defensa, 52, 200

Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, 82, 200

Comité Director Nacional de Nanociencia y de Nanotecnología, 200

Conferencia de Ciencia y Tecnología, 49

Consejo de Estado, 61, 82, 83, 100

Corea del Sur, 94, 98  
índice de actividad, 174  
artículos, 20, 140  
Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo, 159  
investigación básica, 163  
patentes, 142  
productividad, 148  
resultados de investigación, 144

Cuatro Modernizaciones, 53, 58

Cuatro principios económicos, 54

cuotas de importación, 71

Decisión de 1985, *véase* Decisión sobre la Reforma del Sistema de Ciencia y Tecnología

Decisión de acelerar el progreso científico y tecnológico, 72

Decisión de reforzar la innovación tecnológica, desarrollar alta tecnología y lograr su industrialización, 72

Decisión de Unificar la Gestión del Sistema de Educación Superior, 100

Decisión para la Reforma del Sistema Educativo, 100

Decisión sobre la Reforma del Sistema de Ciencia y Tecnología, 63, 231

Deng Xiaoping, 54, 68, 70

descentralización, 62

División Académica, *véase* Academia China de Ciencias

Drexler, Eric, 194

economía socialista de mercado, 70

educación oblicatoria, 100

educación vocacional, 101  
 electroquímica, 209, 245  
 equivalente a tiempo completo, 147  
 escolarización, 93  
 España, 98  
     índice de actividad, 174  
     artículos, 20, 140  
     investigación básica, 162  
     patentes, 142, 161  
     productividad, 148  
 Essential Science Indicators, *véase*  
     bibliometría  
 Estado de seguridad nacional, 44  
 Estados Unidos, 53, 94, 224, 227  
     índice de actividad, 174  
     artículos, 20, 140  
     citas, 154  
     comercio, 133  
     Gasto Bruto en Investigación y  
         Desarrollo, 98, 131  
     Informe PISA, 127  
     internacionalización, 130  
     investigación básica, 163  
     nanotecnología, 196, 200, 205,  
         207, 210  
     patentes, 142, 161  
     productividad, 148  
     resultados de investigación, 144,

189  
 sistema educativo, 91, 119  
 Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Nanotecnología, 200  
 Estrategia para Revitalizar la Nación a través de la Ciencia y la Tecnología, 92  
 Europa, 47  
     Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo, 159  
     sistema educativo, 91  
 física aplicada, 209  
 física multidisciplinar, 209  
 Feynman, Richard, 193  
 física de la materia condensada, 209  
 formación profesional, 101  
 Francia  
     índice de actividad, 174  
     artículos, 20, 140  
     investigación básica, 163  
     patentes, 142  
     productividad, 148  
     resultados de investigación, 144  
 fraude académico, 23  
 fullereno, 194  
 Fundación Nacional de Ciencias de China, 200

Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, 81, 82  
 fundaciones estatales para la investigación, 69  
 Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo, 18, 98, 131, 144, 159, 233  
 globalización, 117  
 Gran Salto Adelante, 46, 48, 53  
 grandes proyectos científicos, 232  
 Grupo Director para la Ciencia y la Tecnología, 62, 67, 83, 231  
 Hong Kong, 125, 228, 246  
 Hu Jintao, 73  
 Hu Qiaomu, 61  
 India  
     artículos, 20, 140  
     patentes, 142  
 Índice de Competitividad Global, 135  
 Índice de Conocimiento, 135  
 Índice de Innovación Global, 135  
 Índice de la Economía del Conocimiento, 135  
 Industria 4.0, concepto, 90  
 Informe PISA, 127  
 informetría, *véase* bibliometría  
 ingeniería metalúrgica, 209, 245  
 innovación abierta, *véase* sistema de I+D  
 innovación autóctona, *véase* innovación soberana  
 innovación soberana, 89  
 Instituto de Investigación del Metal de Shanghai, 227  
 Instituto de Investigación Económica de la Academia, 47  
 Instituto Tecnológico de Beijing, 104, 219  
 Instituto Tecnológico de Harbin, 104  
 institutos de bachillerato, 101  
 institutos de investigación, 40, 42, 52, 58, 65, 67, 87, 91, 103  
     Catorce Puntos en Relación al Trabajo de los Institutos de Investigación en Ciencias Naturales, 49  
     empresas tecnológicas, 76  
     financiación, 80  
 internacionalización, 23  
     campus internacionales, 129  
     movilidad de estudiantes, 93, 127, 242  
     movilidad de trabajadores, 95  
     sistema educativo, 25, 91

investigación aplicada, 59, 165, 234  
 investigación básica, 162, 235  
 investigación colaborativa, 97  
 Israel  
     artículos, 20, 140  
     patentes, 142  
 Italia  
     artículos, 20, 140  
     citas, 146  
     internacionalización, 130  
     patentes, 142  
     productividad, 148  
 Japón, 47, 98  
     índice de actividad, 174  
     artículos, 20, 140  
     citas, 154  
     Gasto Bruto en Investigación y  
         Desarrollo, 159  
     investigación básica, 162  
     patentes, 142, 161  
     productividad, 148  
     resultados de investigación, 144  
 Jrushchov, 46  
 líneas prioritarias de investigación,  
     76, 86, 158, 232, 239  
 ley de patentes, 70  
 liberalización  
     educación, 119  
     licencias de importación, 71  
     Loongson, proyecto, 77  
     Lu Yongxiang, 80  
     manufacturas intensivas en conoci-  
         miento, 133, 136, 161, 234,  
         245  
     Mao Zedong, 33, 40, 45, 46, 49  
     mercado tecnológico, 69  
     Mercosur, 133  
     metalurgia, 209  
     microscopio de efecto túnel, 194, 226  
     microscopio de fuerza atómica, 226  
     Ministerio de Agricultura, 83  
     Ministerio de Ciencia y Tecnología,  
         76, 79, 81, 82, 199, 200  
     Ministerio de Educación, 83, 93, 95,  
         99, 200  
     Ministerio de Industria y Tecnolo-  
         gía de la Información, 82  
     modelo lineal, *véase* sistema de I+D  
     movilidad de estudiantes, *véase* in-  
         ternacionalización  
     nanotecnología, 31, 108, 191, 193  
         índice, 212, 228, 246  
         artículos científicos, 207, 245

centros regionales de innovación, 217, 228

citas, 207

comercialización, 246

estándares, 226, 247

inversión, 245

nanopartículas, 195

nanotecnologías emergentes, proyecto, 246

nanotubos de carbono, 226

objetivos, 201

patentes, 205, 245

National Nanotechnology Initiative, 194, 203

National Science Foundation (Estados Unidos), 82

Nature, revista, 126, 239

Oficina de Patentes de Japón, 138, 151

Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos, 138, 151

Oficina Estatal de la Propiedad Intelectual, SIPO, 20, 152

Oficina Europea de Patentes, 138, 151

óptica, 209

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, 107, 116

Organización Internacional de Normalización, 225

Organización Mundial del Comercio, *véase* comercio

Organización para la Cooperación y el Desarrollo en Europa, 107, 116

Organización para la Cooperación y el Desarrollo en Europa, OECD, 98

Países Bajos

artículos, 20, 140

patentes, 142

paridad de poder adquisitivo, 99

Partido Comunista Chino

Comisión Asesora Central, 67

Comité Central, 35, 63, 83

patentes triádicas, 22, 138, 154, 161, 210, 228, 240

plagio, 23

Plan de Acción para Revitalizar la Educación para el Siglo XXI, 103

planes científicos, 37, 46, 48, 60, 64,

66, 86, 158

origen, 16

Plan a Medio y Largo Plazo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, 9, 83, 244

Plan de Proyectos Clave de Ciencia y Tecnología, 77

Plan Estatal de Desarrollo de Alta Tecnología (Programa 863), 78, 95, 199

Plan Made in China 2025, 37, 90

Programa Antorcha, 79

Programa Chispa, 78

Programa de Apoyo, 77

Programa de Innovación del Conocimiento, 80

Programa de Tecnologías Clave de Investigación y Desarrollo, 77

Programa Nacional de Proyectos Clave de Investigación Básica (Programa 973), 68, 79, 199

Programa Nacional para el Desarrollo de la Nanociencia, 108

Programa para la Extensión de Logros Nacionales de Ciencia y Tecnología, 78

Planes quinquenales, 35

privatización, 70

productividad total de los factores, 73

Programa 863, *véase* planes científicos

Programa 973, *véase* planes científicos

Programa Antorcha, *véase* planes científicos

Programa Chispa, *véase* planes científicos

Programa de Innovación del Conocimiento, *véase* planes científicos

Programa de Tecnologías Clave de Investigación y Desarrollo, *véase* planes científicos

Programa Nacional de Proyectos Clave de Investigación Básica, *véase* planes científicos

Programa Nacional para el Desarrollo de la Nanociencia, *véase* planes científicos

Programa para la Extensión de Logros Nacionales de Ciencia

y Tecnología, *véase* planes científicos  
 programas de doctorado, 70  
 Proyecto 211, 26, 101, 106, 120  
 Proyecto 985, 26, 103, 105, 125, 219  
     financiación, 120  
 Proyecto de Nanotecnologías Emergentes, 227  
  
 química analítica, 209  
 química física, 209  
 química multidisciplinar, 209  
  
 ránking de Shanghái, *véase* ránking de universidades  
 ránking de universidades  
     Quacquarelli Symonds, 122, 244  
     ránking académico de universidades mundiales (ránking de Shanghái), 122, 219, 244  
     Times Higher Education, 122, 244  
 ránkings universitarios, 119  
 Reino Unido, 98  
     índice de actividad, 174  
     artículos, 20, 140  
     citas, 154  
     investigación básica, 162  
     patentes, 9, 142, 161  
     productividad, 148  
     resultados de investigación, 144  
 research intensity, *véase* Gasto Bruto en Investigación y Desarrollo  
 revisión por pares, 23  
 Revolución Cultural, 48, 49, 52, 56  
 Rusia  
     artículos, 20, 140  
     patentes, 142  
  
 Science Citation Index, *véase* bibliometría  
 Science, revista, 126, 239  
 Scopus, *véase* bibliometría  
 Servir a la Patria, 96  
 Sesenta Artículos de Educación Superior, 100  
 Shanghái, municipio, 217  
 Shenzhen, ciudad, 221, 228, 246  
 Shenzhou, nave, 77  
 Sichuan, provincia, 221  
 sistema bancario, 71  
 sistema de I+D  
     evolución, 65  
     financiación, 136  
     fuerza laboral, 146, 154, 240  
     innovación abierta, 12

modelo lineal, 12  
 triple hélice, 12  
 sistema educativo, 91, 100  
   internacionalización, 25, 91, 130  
   inversión, 114  
   liberalización, 119  
 sistema impositivo, 72  
 Social Science Citation Index, *véase*  
   bibliometría  
 Suecia  
   artículos, 20, 140  
   patentes, 142  
 Suiza  
   artículos, 20, 140  
   patentes, 142  
 Sun Yefang, 47  
  
 Tailandia, 94  
 Taiwán  
   artículos, 20, 140  
   patentes, 142  
 Taniguchi, Norio, 193  
 tecno-nacionalismo, 89  
 Thomson Reuters, *véase* bibliometría  
 Tianhe-I, proyecto, 77  
 trabajadores extranjeros, 95  
 triple hélice, *véase* sistema de I+D  
  
 Unión Europea, 133, *véase también*  
   Europa  
 Unión Soviética, 38, 46  
   sistema educativo, 158  
 Universidad de Beijing, 103, 125,  
   219  
 Universidad de Ciencia y Tecnología de China, 104  
 Universidad de Nanjing, 104  
 Universidad de Zhejiang, 104, 125  
 Universidad Fudan, 104, 125, 219,  
   227  
 Universidad Jiaotong de Shanghai, 104, 125  
 Universidad Jiaotong de Xian, 104  
 universidad laboral, 101  
 Universidad Normal de Beijing, 104,  
   219  
 Universidad Renmin de China, 219  
 Universidad Tsinghua, 103, 125, 219,  
   226  
 universidades, 8, 15, 25, 40, 48, 58,  
   67, 80, 91, 104, 118, 125,  
   158, 219  
   campus internacionales, 130  
   G8, 152  
   Grupo Russell, 152

Volver y Servir a la Patria, 96

World Industry Service Database, 116

Zhao Ziyang, 62, 67, 231

Zhou Enlai, 49, 53

Zonas Económicas Especiales, 54,  
63