

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

CENTRO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIONES BIBLIOTECOLÓGICAS

**La maduración de la ciencia mexicana: un análisis histórico
bibliométrico de su desarrollo de 1980–2004**

Que para obtener el grado de Doctor en Bibliotecología y Estudios de la
Información presenta:

María Elena Luna Morales

Comité tutorial:

Dra. Jane M. Russell Barnard
Dr. Miguel Ángel Pérez Angón
Dr. Jesús Antonio del Río Portilla

México D.F., Noviembre, 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A la Dra. Jane Russell por la excelente persona que es, por la paciencia que tuvo en la asesoría de la tesis, y el apoyo que de distintas formas me proporcionó durante el desarrollo del trabajo.

A los Dres. Miguel Ángel Pérez Angón y Jesús Antonio del Río Portilla por su colaboración en la co-tutoría de la tesis, y sobre todo, por las sugerencias, recomendaciones y enseñanzas que cada uno me ofreció en la presentación de los datos.

Al Dr. Salvador Gorbea Portal por su ayuda incondicional en el mejoramiento de la presentación de los resultados de la tesis.

Al Dr. Juan Voutssás Márquez por sus comentarios al trabajo.

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav-IPN) por las ventajas que ofrece en servicios de bases de datos como el Science Citation Index.

A todas aquellas personas que de diferentes maneras contribuyeron al desarrollo y conclusión de esta tesis.

Dedicatoria:

A mi padre, que sabía que la educación es primordial en la vida, y sin embargo, él apenas sabía leer y escribir, lo que pudo aprender viendo y oyendo cuando enseñaban a los hijos de los hacendados. La época y circunstancias en que se desarrolló la mayor parte de su vida, no le permitieron adquirir una educación; no obstante, buscó y construyó para sus hijos las condiciones que nos permitieron formarnos como él decía, *como gente letreada*. Hoy que uno de sus hijos ha logrado el máximo grado académico, orgullo para cualquier padre, con tristeza me doy cuenta que ya no puede gozar de esta felicidad, el cansancio lo venció, y se fue a ese viaje del que no hay regreso.

A mi padre y a mi madre por la vida que me dieron, por los cuidados que me brindaron y las enseñanzas que me ofrecieron.

A mis hermanos y sobrinos, que fueron un soporte fundamental en el desarrollo de la tesis.

Tabla de contenido

Lista de tablas y figuras	v-vii
Lista de abreviaturas de instituciones	viii-x
Resumen	xi
Carta: Luis Herrera-Beltrán	xii
Introducción	1
Referencias citadas	10
CAPITULO 1. Desarrollo institucional y profesional de la ciencia en México	12
1.2. Desarrollo institucional y profesional de la ciencia internacional	14
1.3. La ciencia y su contexto histórico en México	18
1.3.1. Desarrollo institucional y profesional de la ciencia nacional	24
1.3.2. Consolidación de la ciencia moderna en México	28
1.3.3. Programas y posgrados en México	32
1.3.4. Relación Universidad-Empresa	33
1.3.5. La ciencia mexicana en el contexto regional e internacional	36
Referencias citadas	43
CAPITULO 2. Técnicas de análisis de la producción científica: bibliometría, minería de datos y de redes de colaboración científica	49
2.2. Técnicas bibliométricas	50
2.3. Métodos de análisis de proximidad de la ciencia	56
2.4. Técnicas de minería de datos	59
2.4.2. Tareas que integra un sistema de minería de datos	63
2.4.3. Principales técnicas aplicadas en la MD	65
2.5. Visualización de datos	68
2.6. Análisis de redes de coautoría	69
2.6.2. Elementos a considerar en el análisis de redes sociales	71
Referencias citadas	74

CAPITULO 3. Los escalamientos de la ciencia mexicana de 1980-2004

Introducción	81
3.1. Metodología	83
3.1.2. Fuentes de información	83
3.1.3. Herramientas computacionales	84
3.1.4. Herramientas de consulta	85
3.1.5. Indicadores bibliométricos	86
3.1.6. Procedimientos	87
3.1.6.1. Recuperación de los datos	87
3.1.6.2. Aplicación del sistema de minería de datos CIE-UNAM	88
3.1.6.3. Integración de una base de datos en Access	89
3.1.6.4. Tratamiento de los datos: instituciones	90
3.1.6.5. Tratamiento de los datos: categorías temáticas	94
3.1.6.6. Tratamiento de los datos: frecuencia de palabras	95
3.1.6.7. Tratamiento de los datos: sectores productivos	95
3.1.6.8. Presentación de los datos	96
3.2. Eventos ocurridos en ciencia y tecnología de 1980-2004	100
3.3. Resultados y discusión	104
3.3.1. Institucionalización y profesionalización de la ciencia en México	104
3.3.2. PIB, gasto, investigadores SNI y becas CONACYT	106
3.3.3. Trabajos y citas por década y quinquenio	108
3.3.4. Crecimiento de la ciencia mexicana por series anuales	111
3.3.5. Tipo de publicación	113
3.3.6. Idioma de publicación	116
3.3.7. Agrupamientos de autores por producción científica	118
3.3.8. Modelo matemático de Lotka	120
3.3.9. Revistas de publicación	123
3.3.10. Evolución de las principales revistas por quinquenio de publicación	124
3.3.11. Modelo Matemático de Bradford	126

3.3.12. Revistas, trabajos y citas por serie anual	129
3.3.13. Producción y citas por entidad federativa: descentralización	
3.3.13.1. PNP y producción científica	131
3.3.13.2. Trabajos y citas	133
3.3.13.3. Trabajos por entidad federativa	136
3.3.13.4. Citas por entidad federativa	143
3.3.14. La ciencia mexicana por disciplina científica	148
3.3.15. Sectores de mayor producción científica en el país	156
3.3.16. La ciencia mexicana por instituciones	162
3.3.17. Distribución institucional nacional	167
3.3.18. Colaboración científica nacional e internacional	171
3.3.19. Red de coautoría institucional nacional	175
3.3.20. Red de coautoría por países	182
3.3.21. Red de categorías temáticas	189
3.3.22. Tendencias en la investigación	197
Referencias citadas	200
CAPITULO 4. Discusión general	203
4.1. Periodos de crecimiento y colaboración científica	206
4.2. Idioma, tipo y fuentes de publicación	212
4.3. Modelo matemático de Bradford y Lotka	214
4.4. Descentralización y desconcentración de la ciencia en México	216
4.5. Los impactos de los eventos en la consolidación de la ciencia	225
4.6. Relación universidad – empresa	228
4.7. Disciplinas científicas y sectores de producción	230
4.8. Los alcances de la ciencia mexicana	232
Referencias citadas	236
CAPITULO 5. Consideraciones finales	243
Referencias citadas	249

Anexo 1-1. Clasificación de categorías temáticas por disciplina científica	xiii-xx
Anexo 3-1. Distribución de autores por contribuciones, según el modelo matemático de Lotka.	xxi-xxiv
Anexo 3-2. Desarrollo del modelo matemático de Bradford	xxv-xxix
Anexo 3-3. Producción e impacto por disciplina científica y entidad federativa	xxx-xxxv
Anexo 3-4. Trabajos con más de 400 citas acumuladas	xxxvi-xxxvii

Lista de tablas y figuras

Figuras:

2-1. La MD en el proceso descubrimiento de Bases de Datos de Conocimiento	62
2-2. Fases de un proyecto de minería de datos.	65
3-1. Desagregación de las direcciones contenidas en los trabajos publicados.	91
3-2. Principales eventos históricos que contribuyeron al crecimiento de la ciencia mexicana.	103
3-3. Distribución de becas, posgrados, instituciones y trabajos publicados por series anuales.	106
3-4. Distribución del PIB, gasto, becas CONACYT e investigadores SNI por series anuales.	108
3-5. Producción y citas por serie anual.	112
3-6. Trabajos publicados y citas acumuladas por idioma y quinquenio.	117
3-7. Agrupación de autores por frecuencia de publicación.	119
3-8. Representación gráfica del modelo matemático de Lotka.	123
3-9. Clasificación de revistas con mayor número de trabajos publicados por quinquenio.	125
3-10. Representación gráfica del modelo matemático de Bradford.	128
3-11. Distribución de revistas, trabajos y citas por serie anual.	131
3-12. Crecimiento de PPPN, instituciones y producción científica.	132
3-13. Trabajos por entidad federativa y quinquenio.	137
3-14. Producción científica del DF en valores absolutos y porcentajes.	141
3-15. Producción del DF vs el resto de las entidades federativas del país.	142
3-16. Citas quinquenales por entidad federativa.	145
3-17. Citas del Distrito Federal a través de valores absolutos y porcentajes.	147
3-18. El DF vs el resto de las entidades federativas en porcentajes de citas.	148
3-19. Distribución de la ciencia mexicana por disciplina científica.	149
3-20. Disciplinas científicas por quinquenio.	151
3-21. Dinámica de crecimiento de las disciplinas científicas por serie anual.	153
3-22. Sectores de mayor producción científica en el país.	157

3-23. Citas por sectores de producción en México.	158
3-24. Sectores de mayor producción por serie anual.	161
3-25. Crecimiento anual de instituciones mexicanas y extranjeras	162
3-26. Grado de coautoría por grupos de investigación.	178
3-27. La participación de la empresa con el resto de grupos de investigación.	180
3-28. Participación de los institutos tecnológicos en coautoría institucional.	181
3-29. Crecimiento anual de países en colaboración y producción científica.	183
3-30. Principales niveles de participación de países por trabajo.	187
3-31. Relación de coautoría por continente.	188
3-32. Clasificación de las categorías temáticas con mayor número de trabajos publicados por quinquenio.	191
3-33. Interdisciplinaridad entre disciplinas científicas.	193
3-34. Categorías temáticas por distribución de frecuencias.	196

Tablas:

1-1. Distribución anual del PIB asignado en ciencia y tecnología en México: 1989-2004.	39
3-1. Promedios de producción y citas por década y quinquenio.	110
3-2. Ajustes de crecimiento de la ciencia mexicana por serie anual.	111
3-3. Tipo de publicación por quinquenio: trabajos y citas.	115
3-4. Índice y tasa de coautoría.	120
3-5. Distancias de los valores $[f(x) - s(x)]$.	122
3-6. Revistas de mayor publicación y citadas.	127
3-7. Distribución de investigadores SNI, programas nacionales de posgrado, trabajos y citas por entidad federativa.	135
3-8. Distribución de trabajos por quinquenio y entidad federativa.	139
3-9. Descripción de los valores de las disciplinas científicas	152
3-10. Porcentaje de instituciones por entidad federativa.	166
3-11. Instituciones mexicanas con mayor producción e impacto científico.	169
3-12. Instituciones mexicanas con mayor número de dependencias en el país.	170
3-13. Instituciones extranjeras de mayor colaboración científica con México	173

3-14. Colaboración científica internacional por disciplina científica.	174
3-15. Frecuencia de distribución por número de cluster: instituciones	176
3-16. Instituciones con mayor centralidad, cercanía e intermediación: instituciones.	177
3-17. Distribución de frecuencias por número de cluster: países.	184
3-18. Centralidad por grado, cercanía e intermediación: países.	185
3-19. Distribución de frecuencias por número de cluster: categorías.	194
3-20. Centralidad, cercanía e intermediación: categorías.	195
3-21. Descripción de términos más frecuentes registrados en los trabajos.	198

Principales abreviaturas utilizadas en el trabajo

Descripción	Abreviatura
Asociación para Evitar la Ceguera En México	APECM
Centro de Información para Decisiones en Salud Pública	CENIDSP
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	CIDESI
Centro de Investigación Alimentación y Desarrollo	CIAD
Centro de Investigación Científica de Yucatán	CICY
Centro de Investigación de Materiales Avanzados	CIMAV
Centro de Investigación en Ingenierías y Ciencias Aplicadas	CIICAP
Centro de Investigación para el Desarrollo AC	CIDAC
Centro de Investigación Sobre Fijación del Nitrógeno /Centro de Ciencias Genómicas	CISFN CCG
Centro de Investigación Superior en Antropología Social	CISAS
Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica en Cuero y Calzado AC	CIATEC
Centro de Investigación y Asistencia tecnológica y Diseño Estado Jalisco	CIATEJ
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	CINVESTAV
Centro de Investigación y Estudios Superiores y Antropología Social	CIESAS
Centro de Investigación y Matemáticas	CIMAT
Centro de Investigación y Química Aplicada	CIQA
Centro de Rehabilitación y Educación Especial	CREE
Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas	CICM
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	CENIDET
Centro Nacional de Metrología	CENAM
Centro Nacional de Referencia de Control Biológico	CNRCB
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria	CENSA
Centro Nacional para la Salud de la Infancia y Adolescencia	CENSIA
Centro Nacional para la Prevención y Control del VIH/SIDA	CENSIDA
Comisión Nacional del Conocimiento y Uso de la Biodiversidad	CONABIO
Comisión Estatal del Deporte y Atención a la Juventud	CEDAJ
Comisión Federal de Electricidad	CFE
Colegio de Frontera Sur	ECOSUR
Colegio de la Frontera Norte	COLEF
Comisión Nacional Conocimiento & Uso Biodiversidad	CONABIO
Comisión Nacional del Agua	CONAGUA
Consejo Nacional de Población	CONAPO
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A	COMIMSA
Industrias Fermex	FERMEX
Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa	ILCE
Instituto Mexicano de Propiedad Industrial	IMPI
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	IMTA
Instituto Nacional de Ecología	INECOL
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero	INIDEP
Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas	INIA
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarios	INIFAP

Descripción	Abreviatura
Instituto Tecnológico Autónomo de México	ITAM
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente	ITESO
Laboratorio Nacional Informática Avanzada	LANIA AC
Universidad Anahuac	UAnahuac
Universidad Autónoma Aguascalientes	UAA
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	UAAANarro
Universidad Autónoma Benito Juárez Oaxaca	UABJO
Universidad Autónoma Campeche	UAC
Universidad Autónoma del Carmen	UACmen
Universidad Autónoma de Chapingo	UAChapingo
Universidad Autónoma Ciudad México	UACM
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	UACJ
Universidad Autónoma de Chihuahua	UAChih
Universidad Autónoma de Chiapas	UACH
Universidad Autónoma de Coahuila	UACoahuila
Universidad Autónoma de Colima	UAColima
Universidad Autónoma de Guanajuato	UAGto
Universidad Autónoma de Guerrero	UAGro
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	UAEM
Universidad Autónoma de Nayarit	UAN
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL
Universidad Autónoma de Puebla	UAP
Universidad Autónoma de Pachuca	UAPach
Universidad Autónoma de Querétaro	UAQro
Universidad Autónoma de Quintana Roo	UAQRoo
Universidad Autónoma de Sinaloa	UAS
Universidad Autónoma de Sonora	UNISON
Universidad Autónoma de Tamaulipas	UAT
Universidad Autónoma de Tlaxcala	UATx
Universidad Autónoma de Veracruz	UAV
Universidad Autónoma de Yucatán	UADY
Universidad Autónoma de Zacatecas	UAZ
Universidad Autónoma Estado de Hidalgo	UAE
Universidad Católica Mexico	UNIVA
Universidad Ciencias y Artes Estado de Chiapas	UCAEChiapas
Universidad Cristóbal Colón	UCL
Universidad de Ciencias y Artes Estado de Chiapas	UnivCiencArtesEdoChiapa
Universidad de Ciencias de la Salud	UnivCiencSalud
Universidad de Guadalajara	UdeG
Universidad de Guanajuato	UGto
Universidad de Nuevo León	UNL
Universidad de Querétaro	UQro
Universidad de Quintana Roo	UQR
Universidad del Ejercito y Fuerza Área	UEDFA
Universidad del Estado de Morelia	UDEM
Universidad del Mayab	UMayab

Descripción	Abreviatura
Universidad Edimburgo	UEdimburgo
Universidad Estatal Nuevo	UEN
Universidad Galilea	UGalilea
Universidad Iberoamericana	UIA
Universidad Independiente BC	UIBC
Universidad Independencia	UIndependencia
Universidad Intercontinental	UnivInterContienental
Universidad IbnTofail	UITofail
Universidad Istmo	UnivIstmo
Universidad ITESO	UITESO
Universidad Autónoma Juárez de Tabasco	UAJT
Universidad Juárez Estado de Durango	UJEDgo
Universidad Juárez de Oaxaca	UJOax
Universidad Justo Sierra	UJS
Universidad Latinoamericana	ULA
Universidad Mar	UMar
Universidad Marista	UMarista
Universidad Metropolitana	UMetropolitana
Universidad Monterrey	UMonterrey
Universidad MonteMorelos	UnivMMorelos
Universidad Multimedia	UMultimedia
Universidad del Noreste	UNoreste
Universidad de Occidente	UOccidente
Universidad la Salle	USalle
Universidad Panamericana	UPanamer
Universidad Papaloapan	UPapaloapan
Universidad Pedagógica Nacional	UnivPedagogNacl
Universidad Popular Chontalpa	UPCh
Universidad Popular Autónoma Estado Puebla	UPAEP
Universidad Regiomontana	UR
Universidad Salamanca	USalamanca
Universidad Tecnológica México	UTMex
Universidad Tecnológica Mixteca	UTMix
Universidad Tecnológica Querétaro	UTQro
Universidad Tecnológica Tula Tepeji	UTTT
Universidad Valle Atemajac	UVAtemajac
Universidad Valle de México	UVM
Universidad Veracruzana	UV
US Department of Agriculture	USDA

Resumen

Se analiza el desarrollo de la ciencia mexicana en un periodo de 25 años (1980-2004), a través de los trabajos registrados en el Science Citation Index Expanded (SCIE) con adscripción a instituciones mexicanas; tomando como base que los objetivos primordiales giran en torno a la identificación de los principales periodos de crecimiento de la ciencia en México. Se parte de una hipótesis general que plantea que la descentralización y la colaboración científica son parte fundamental del proceso de institucionalización y profesionalización de la ciencia mexicana. En este sentido, para el análisis de los datos se optó por el uso del método bibliométrico en combinación con la técnica de minería de datos y análisis de redes de coautoría. El estudio se complementa con la identificación de los eventos que tienen que ver con el desarrollo de la ciencia y tecnología del país, ocurridos durante la etapa de estudio y que de alguna manera contribuyeron al progreso de la ciencia mexicana.

De acuerdo con los resultados que muestra el presente estudio, se advierte que la ciencia en México ha conseguido importantes escalamientos durante los años, quinquenios y décadas analizadas, con muchas probabilidades de continuar consolidando el crecimiento que desde los años 90 está registrando. Los patrones de evolución que muestra la ciencia mexicana, infieren que la década de los años 80 es el periodo de gestación y reajuste de las condiciones para su desarrollo, en los 90 se fortalece y se logran los primeros grandes efectos, los que se continúan en los 2000. Sin embargo, estos crecimientos no serían posibles sin la participación de las instituciones particularmente de educación superior del país, y los diversos grupos de investigación que de manera constante participan en la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México, a través de la desconcentración científica; y de las diversas iniciativas que a nivel CONACYT se han realizado para apoyar la descentralización de la ciencia mexicana, al mismo tiempo que ha contribuido a concretar proyectos como el apoyo en becas y programas de posgrado, sin dejar de mencionar la importancia que también ejerce el sistema nacional de investigadores (SNI).

En junio de 1932 el farmacéutico y distinguido naturalista Alfonso Luis Herrera, escribe a Enrique Beltrán, quien radica en Nueva York.

“Insisto en que haga U. todo lo posible por no regresar a este rincón del mundo donde la ciencia nunca ha tenido amparo y donde le esperan grandes amarguras. Procure U. adquirir como yo lo hice, el mayor número de libros, que aquí no se consiguen y luego son de grandísima utilidad”¹.

En noviembre del mismo año Beltrán le escribe a Herrera mencionándole, que ha encontrado artículos suyos en la bibliografía que se utiliza en el curso de Protozoología Superior en Columbia, y que los había hecho notar a sus profesores, *“...con la natural satisfacción de poder decir que en México somos también capaces de hacer algo”*.

¹ Carta de Alfonso L. Herrera a E. Beltrán del 29 de junio de 1932. CEDEB.

Introducción

Diversos han sido los esfuerzos orientados a analizar la evolución de la producción y el impacto científico en México, realizados por diversos organismos nacionales e internacionales que buscan, por un lado, apoyar la ciencia y la tecnología del país, y por otro, clasificar a los países según el desarrollo de su actividad científica y tecnológica, de tal manera que permita advertir sobre las ventajas y desventajas que presentan en comparación con otros de economías similares, e incluso entre países miembro de las propias organizaciones. A estos estudios se agregan los esfuerzos individuales orientados, a través de estudios bibliométricos, cienciométricos y de minería de datos, a desarrollar herramientas útiles que contribuyan a la construcción y aplicación de políticas científicas de mayor beneficio para el país.

Para hablar de la ciencia mexicana es necesario, como dice R. Mariaca- Méndez (2003), hacer referencia al pasado, para entender de mejor manera el presente. En este sentido, la ciencia mexicana tiene un largo proceso de desarrollo ligado a los distintos contextos históricos, políticos, sociales, culturales y económicos ocurridos en el país; es por ello que resulta difícil desligar el progreso de la ciencia de los aspectos de crecimiento y estabilización del país. Aunque el camino ha sido largo y accidentado, la ciencia mexicana por fin logró encontrar sus primeros rumbos claros durante el porfiriato, cuando hijos de familias de clase alta salen a hacer estudios de posgrado al extranjero, a su regreso trajeron conocimiento y una forma de darlo a conocer fue por medio de pláticas y seminarios. De esta manera, en 1902, se dio la primera conferencia sobre biología general en la Escuela Normal de Profesores.

La ciencia mexicana empezó a tomar forma a partir de 1910 cuando se crearon los institutos de Enfermedades Tropicales, de Salud e Higiene y algunos laboratorios especializados, orientados al estudio y desarrollo de vacunas para resolver los problemas de salud que abrumaban a la sociedad de la época, entre otras, el tifo

que trajo la presencia de científicos de varios países en particular de Inglaterra y Estados Unidos, además de mexicanos como Maximiliano Ruiz Castañeda (Luna-Morales, Collazo-Reyes, Russell and Pérez-Angón, 2008). Con el tiempo la ciencia en México sigue tomando forma, sobre todo cuando en 1935 se fundó el Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica (CNESIC), antecedente directo de lo que hoy es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El CNESIC forma parte de las primeras acciones del gobierno del general Lázaro Cárdenas del Río y representa otro eslabón importantísimo en el desarrollo de la ciencia en México; a través de su gobierno se fomentó la idea de consolidar el crecimiento económico del país ligado al desarrollo de la ciencia y la tecnología instalada y generada en el país; además, se pronunció por la cimentación de un sistema de educación básicamente técnico en el ámbito nacional, considerando que hacían falta profesionistas con capacidad técnica que apoyarían en el desarrollo de la industria del país, dando lugar al binomio ciencia - educación superior (Monteón-González, 2006).

No obstante que estas iniciativas forman parte de las bases de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México, primordialmente empezaron a definirse a partir de la autonomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929, con la instalación en su campus de los primeros institutos y facultades de investigación: Astronomía, Biología y Geología (1929), Geografía y Física (1938), Facultad de Ciencias (1939), Química (1941) y Matemáticas (1942). En estas dependencias se desarrollaron los primeros programas de posgrado de enseñanza y se complementaron con la fundación en el país de distintos institutos y centros de investigación. Estos aspectos, más la masificación de las universidades públicas, además de la ventaja que ofrecía la economía estable de los años 1960-1970, coadyuvaron en lo que podríamos calificar como los inicios de una ciencia con crecimiento sostenido, libre de las mutilaciones y periodos de estancamiento a los que hace referencia E. Trabulse (2003).

Los grupos de investigación existentes hasta ese momento buscaban la forma de reproducirse y extenderse; para ello aprovecharon el momento para institucionalizar y profesionalizar sus actividades a partir de la instauración de organismos de carácter público como el CONACYT. Este consejo fue fundado en 1970 con objetivos específicos de coordinar y distribuir los recursos económicos destinados para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en México. Es claro que al CONACYT, en sus primeros años, le esperaba una tarea difícil: uno de los varios asuntos que debía atender era la alta concentración de la investigación científica realizada en la Ciudad de México, sobre todo en la UNAM, Cinvestav, IPN e instituciones de salud (De la Peña, 1995). En este entorno de diversas dificultades, al CONACYT le llevó 12 años intentar organizar la actividad científica del país. No obstante, a estas adversidades había que agregar otras que también obstruyeron el desarrollo de la ciencia mexicana. Por ejemplo, la década de los años 80 fue para México un periodo muy difícil: la escasez de recursos llevó a un descenso en el presupuesto aprobado para el desarrollo de la ciencia y tecnología, de 0.43% a 0.30% del PIB (Canales, 2006). Esto afectó en las becas de posgrado que el CONACYT tenía planeado incrementar durante este periodo. Desafortunadamente, la situación económica siguió afectando al país en todos los sectores, incluido el de la ciencia, a pesar de que se continuaron generando nuevas organizaciones dependientes del estado como el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), que surgió como una forma de compensación salarial para los investigadores.

El periodo de los años 90 se veía prometedor, todo indicaba que la crisis estaba quedando atrás y se visualizaba una apertura comercial que desde el punto de vista de nuestros gobernantes prometía beneficios para México. Desde la década de los años 80 se buscó la viabilidad de vincular la investigación científica con el cambio estructural de la economía nacional y generar conocimiento útil (Canales, 2006). Es por ello que esta idea se retoma en los años 80, donde se adoptaron algunas características del modelo lineal que prometía dar mayor importancia a la demanda de las empresas para impulsar el desarrollo tecnológico; en este

esquema los centros de investigación del país jugarían un papel fundamental. Sin embargo, al término de este periodo se detectó que el sistema seguía siendo reducido, concentrado y poco productivo. Es por ello que el CONACYT emprende varias tareas con el fin de reorganizar el desarrollo de la ciencia mexicana, entre otras instaló diversas sedes llamadas Direcciones Regionales que tienen como fin fortalecer el Sistema Nacional y los Sistemas Estatales de Ciencia y Tecnología, involucrando a su vez a las instancias competentes de los gobiernos estatales. Por supuesto, para llevar a cabo esta tarea se instaló un Fondo Mixto para cubrir las necesidades locales en ciencia y tecnología, y sobre todo, para acercar a los investigadores a las oficinas regionales evitando con esto el traslado hacia el DF. La fundación de los centros CONACYT forma parte de las iniciativas de descentralización, además tienen la encomienda de apoyar a las empresas instaladas en la región.

A lo anterior, hay que agregar que durante una década, 1991-2001, el CONACYT se dedicó a evaluar y acreditar los programas de posgrado impartidos por instituciones mexicanas; esto, con la idea de mejorarlos y llevarlos a niveles de excelencia, y hacerlos más competitivos no sólo en el ámbito nacional sino también internacional, ofreciendo a los estudiantes mexicanos alternativas para la formación científica en el país, a la vez que se reducía el número de becas para universidades extranjeras (Rojas, 2004). En general son varios los esfuerzos que el CONACYT ha realizado con el fin de concretar políticas científicas más acordes para el país. No obstante, a casi 40 años que inició ésta tarea, todavía se discute la existencia de un sistema nacional de ciencia y tecnología. Autores como A. Canales (2006) afirma que sólo se trata de agregados de instituciones que no tienen ninguna relación entre sí y con flujos de información deficientes.

Por otro lado, conocer el grado de maduración que un país logra con relación al desarrollo de la ciencia y tecnología es de vital importancia, sobre todo, porque es una forma de advertir sus orígenes, evolución, desarrollo y estancamiento en términos de organización institucional, grupos de investigación, tradiciones

científicas, políticas científicas, producción, colaboración e impacto científico (Collazo-Reyes y Luna-Morales, 2002a; Collazo-Reyes y Luna-Morales, 2002b; Saldaña, 1994); a través del uso de la bibliometría y otros métodos de análisis de la literatura científica, potenciando con ello las ventajas que esta disciplina ofrece en la determinación de signos de madurez de la ciencia mexicana.

Los progresos que sobre la ciencia mexicana se exhiben en este estudio advierten la presencia de un fenómeno claro de maduración de la ciencia en México, determinado, no solo por los incrementos en la producción e impacto científico, sino también, por los distintos esfuerzos que hicieron posible los crecimientos.

Tomando en cuenta este panorama se optó por desarrollar la presente tesis que toma como base un postulado de D. Crane (1972), que dice: las comunidades científicas generalmente presentan periodos de crecimiento visibles a través de la literatura y su impacto científico, la expansión de los grupos de investigación y la colaboración científica establecida con otras comunidades científicas en el ámbito nacional e internacional, dando lugar a distintos patrones de crecimiento que reflejan, entre otros aspectos, la acumulación de esfuerzos en el desarrollo de las disciplinas científicas, y puede verse como el resultado de diferentes escalamientos; en muchos casos de orden exponencial, que tienen que ver con la asignación de distintos recursos: materiales, económicos, humanos y el uso de recursos documentales, partiendo de la idea de que este postulado también se reproduce en la ciencia mexicana, se propuso como meta de la investigación, determinar de qué orden son estos escalamientos en la ciencia mexicana. Es decir, identificar los principales patrones de producción e impacto científico de la ciencia en México, a partir del análisis de la literatura científica producida por investigadores adscritos a instituciones mexicanas registrada en el Science Citation Index versión expandida (SCIE) durante el periodo 1980-2004. Se tomó como herramienta base a uno de los más completos sistemas de información que existen a nivel mundial, reconocido por la multidisciplinaridad de los temas de investigación que cubre, y por la cobertura de búsqueda que integra. A través del

registro de la ciencia de mayor internacionalización difundida a través de las revistas de más amplia cobertura científica. Para lograr los fines se consideró necesario hacer uso de distintas herramientas de análisis como: bibliometría, minería de datos y el análisis de redes de coautoría, que en conjunto coadyuvaron a determinar el crecimiento de la ciencia mexicana en el periodo analizado. Como complemento se identificaron los eventos históricos suscitados y que de una u otra manera contribuyeron al desarrollo de la ciencia en México.

Considerando las ventajas que cada uno de estos métodos ofrece para el análisis de la literatura científica, se propuso como objetivo principal de esta tesis: *realizar un análisis de la literatura científica registrada en el Science Citation Index con adscripción a instituciones mexicanas durante el periodo 1980-2004, y con el apoyo de técnicas bibliométricas, de minería de datos y análisis de redes de colaboración, con el fin de determinar los principales patrones de producción y citas de la ciencia en México.* Complementan lo anterior dos objetivos particulares:

- (1) *Determinar los desarrollos que ha experimentado la ciencia mexicana en 1980-2004, a partir de la identificación de los períodos de mayor producción e impacto científico, y la adopción de la colaboración como una forma de comunicación científica.*
- (2) *Identificar los eventos históricos y circunstancias que contribuyeron al desarrollo de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México y su descentralización.*

La hipótesis planteada supone que *el crecimiento y descentralización de la ciencia mexicana es resultado de la consolidación de esfuerzos orientados hacia la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México, así como de los escalamientos que en forma individual han logrado las distintas disciplinas nacionales de investigación, en complemento con la adquisición de nuevas formas de publicación y comunicación científica, orientadas particularmente a la colaboración entre grupos de investigación nacionales e internacionales.*

Con este trabajo se busca, por un lado, contribuir al estudio de ciencia mexicana dando lugar a una herramienta que sea de utilidad tanto para las instancias responsables de coordinar los aspectos de ciencia y tecnología del país, así como para los investigadores y toda aquella persona que tengan interés en conocer la forma en que ha evolucionado la ciencia en México durante un periodo de 25 años. En el ámbito bibliotecario, lo que se pretende es ayudar al fortalecimiento de los métodos no sólo bibliométricos sino también de minería de datos y análisis de redes de coautoría o colaboración científica, sobre todo los últimos dos que están evolucionando y participando cada vez con mayor frecuencia en gran parte de las áreas de investigación, principalmente por las ventajas que ofrecen para identificar, procesar, extraer y representar la información que realmente es importante (Marcano-Aular y Talavera-Pereira, 2007). De esta manera la actividad científica como una organización que se mueve dentro de estructuras actualmente identificadas con cambios continuos, por los constantes movimientos que en tiempo real se están produciendo en la producción, impacto, recursos de investigación, posgrados, becas y revistas científicas, proporcionando elementos que contribuyan a la toma de decisiones que tienen que ver con política científica.

Entre los resultados que emanan del presente estudio destacan los siguientes: la ciencia mexicana por serie anual presenta un patrón de crecimiento sostenido muy parecido entre los trabajos y las citas. Los investigadores optan por publicar principalmente artículos en revistas, por este medio dan a conocer el (88%) del total de los trabajos, sobre todo escritos en inglés (91%). Entre las principales revistas de publicación destaca la presencia de siete de edición mexicana que difunden el 7% del total de los trabajos publicados.

La década de los años 90 es el periodo de mayor consolidación y crecimiento de la ciencia mexicana, es decir, no sólo se sostienen los crecimientos sino que se duplican en prácticamente todos los aspectos: trabajos publicados, citas, becas y posgrados, revistas científicas, instituciones de investigación y colaboración

científica. De hecho el efecto se continúa en los primeros años del 2000, donde también se muestran escalamientos significativos.

La UNAM, el Cinvestav, el IPN y el ITESM son las principales promotoras de la desconcentración de la ciencia en México, proceso que se complementa con la institucionalización y profesionalización que se está produciendo desde los años 80. Por un lado, los valores absolutos indican que el DF continúa en ascenso; sin embargo, en términos porcentuales entre un quinquenio y otro está disminuyendo en un promedio del 5%. Esto se complementa con el esfuerzo que las entidades federativas están realizando para incrementar su producción e impacto científico. Además del apoyo que reporta la UNAM, el Cinvestav y el IPN que también se comportan como las más productivas del país, están ubicadas como las que más contribuyen en la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México a través de los esfuerzos que realizan en la descentralización de la actividad científica. A este grupo se integra el ITESM que a partir de los años 90 muestra mayor participación en desconcentración de sus instituciones, y registra un número más alto de trabajos publicados en revistas de corriente principal.

Las ciencias biológicas, medicina y ciencias de la salud, físicas, ingenierías y químicas son las disciplinas que registran mayor crecimiento, se desarrollan en gran parte de las entidades del país gracias a los esfuerzos que los grupos de investigación realizan para institucionalizar y profesionalizar sus áreas de investigación. Las disciplinas correspondientes a humanidades y ciencias sociales clasificadas como *otras* registran escasa participación, dado que únicamente se buscó en el SCIE, y estas áreas están mejor representadas en los índices correspondientes a humanidades y sociales.

La colaboración científica está jugando un papel primordial entre los grupos de investigación del país, tanto a nivel local como internacional. Es por ello que la ciencia mexicana sostiene un alto grado de internacionalidad, la disciplina que mayor colaboración científica registra es la física, al igual que medicina y ciencias

de la salud, ingenierías y ciencias biológicas. A nivel de países México ha colaborado durante los 25 años de estudio con 143 países de todos los continentes, aunque sobresale la colaboración con los países europeos, asiáticos, y por supuesto de la América del Norte, Central y del Sur, a través de 4 280 instituciones de educación, investigación, centros y laboratorios de adscripción registradas en los trabajos publicados. Por último, las redes de coautoría aplicadas a las instituciones mexicanas indican que los enlaces más intensos residen entre las instituciones de educación superior y el sector salud, así como entre educación superior y centros de investigación. Entre disciplinas, la colaboración es más intensa entre ingenierías y ciencias físicas, y entre ciencias biológicas y medicina y ciencias de la salud.

Finalmente, la tesis quedó organizada en tres capítulos, los dos primeros hacen referencia al marco teórico y referencial de la investigación; el primero aborda los aspectos relacionados con el desarrollo histórico de la ciencia en México, incluidos los procesos de institucionalización y profesionalización; el segundo se refiere a los conceptos y desarrollo de la bibliometría, minería de datos y análisis de redes de coautoría o colaboración científica; el capítulo tres integra la metodología y los resultados de la investigación. Por último, los capítulos cuatro y cinco dan a conocer la discusión y consideraciones; por separado aparecen los anexos.

Referencias citadas

- CANALES, A. (2006).** El tiempo de la ciencia y la tecnología. *Campus Milenio*, (200 Noviembre): 1-3.
- COLLAZO-REYES, F. Y LUNA-MORALES, M.E. (2002a).** El síndrome Big Science y su influencia en el proceso de maduración de la física mexicana de partículas elementales. *Revista Española de Documentación Científica*, 25 (4): 409-420.
- COLLAZO-REYES, F. Y LUNA-MORALES, M.E. (2002b).** Física mexicana de partículas elementales: organización, producción científica y crecimiento. *Interciencia*, 27 (7): 347-353.
- CRANE, D. (1972).** Invisible college: diffusion of knowledge in scientific communities. Chicago: University Press, 22-40.
- DE LA PEÑA, J.A. (1995).** La investigación científica en México: estado actual, algunos problemas y perspectivas. *Perfiles Educativos*, (67): 2-7. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/ArtPdfRed.jsp?iCve=13206702>, (febrero, 2009).
- LUNA-MORALES, M.E; COLLAZO-REYES, F; RUSSELL, J.M. AND PEREZ-ANGON, M.A. (2008).** Publication and citation patterns of Latin American & Caribbean journals in the SCI and SSCI from 1995 to 2004. *Scientometrics*, 75 (1): 145-161.
- MARIACA-MÉNDEZ, R. (2003).** El futuro de la investigación científica en México. *Ecofronteras*, 16): 31-34.
- MARCANO-AULAR, Y.J. Y TALAVERA-PEREIRA, R. (2007).** Minería de Datos como soporte a la toma de decisiones empresariales. *Opción*, 23 (52): 104-118.
- MONTEÓN-GONZÁLEZ, H. (2006).** El Consejo Nacional de la Educación Superior y al Investigación Científica (CNESIC) antecedente directo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). En *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad e Innovación CTS+I (junio, 19-23, Palacio de Minería, D.F.)*, pp. 1-10.

- ROJAS, A. (2004).** El sistema de postgrado y la acreditación en México. *E-NewsLetter*, 1 (2): 1-2.
- SALDAÑA-GONZALEZ, J.J. (1994).** El sector externo y la ciencia nacional: el conservacionismo en México. *Quipu*, 11: 195-217.
- TRABULSE, E. (2003).** Tradición y ruptura en la ciencia mexicana. En *Science and Cultural Diversity, Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science (Mexico, City, 2001)*, JJ Saldaña (Ed.). México: UNAM: Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología. v. I (Plenary Lectures). Pp. 33-42.

CAPITULO 1

Desarrollo institucional y profesional de la ciencia en México

Desde los tiempos más remotos la ciencia ha estado presente en la vida del hombre a través de distintas manifestaciones que se mostraron visibles a través de culturas como la asiática, mesopotámica, egipcia, griega, judaica y cristiana, mismas que hicieron posible el arribo de la ciencia moderna en la Europa Occidental del siglo XVII, etapa que representa para la ciencia su reconocimiento ante la sociedad por medio de su institucionalización y profesionalización.

La ciencia moderna surge como un acontecimiento crucial en la historia de la humanidad: recoge la experiencia humana asociada al entendimiento de los procesos naturales de todo tipo y a su propia organización en cuerpos de doctrinas que han mostrado enorme capacidad de depuración y desarrollo (Cordón, 1982). Su origen está ligado a circunstancias concretas en las que intervienen múltiples factores: el crecimiento de las ciudades, el cambio de mentalidad de los sabios de la época, la declinación del feudalismo, el surgimiento de la burguesía, el incremento del comercio y los cambios en los modos de producción a los que estaba dando lugar el nacimiento del capitalismo y la revolución industrial (Fortes y Lomnitz, 1991). Todos estos agentes ayudaron a generalizar la idea de que el hombre, a través de su inteligencia y razonamiento es capaz de someter y controlar el mundo físico.

El surgimiento del capitalismo dio lugar a nuevas técnicas de producción, que a su vez, influyeron en el crecimiento de la actividad científica y generaron cambios acelerados en el desarrollo de la tecnología. De acuerdo con J.D. Bernal (1979), la revolución científico-tecnológica es un fenómeno social que permitió el reconocimiento definitivo de la ciencia, por parte de la sociedad europea. Sin embargo, este acontecimiento no ocurrió de un día para otro, sino a lo largo tres siglos (XVII-XIX), tiempo en el que ocurrieron grandes cambios sociales, políticos

y económicos. Durante este tiempo se instalaron distintas sociedades científicas como *The Royal Society of London (1660)* y la *Academie Róyale Sciences (1666)*, posteriormente llamada *Académie de Science*. Siglo y medio después ya existía una importante red de academias e instituciones científicas en Europa; así como el reconocimiento de notables científicos como Leonardo Da Vinci, que contribuyó con sus investigaciones al campo de la física y la biología; Nicolás Copernico, Tycho Branem Johan Kepler y Galileo Galilei que ampliaron los conocimientos en el campo de la astronomía, y cambiaron por completo la visión que se tenía sobre la forma del universo; y Teofastro Paracelso quien hizo fascinantes aportaciones a la medicina. Otra gran figura del siglo XVII fue, Isaac Newton, descubridor de la ley de la gravedad, inventor del cálculo infinitesimal, y probó la naturaleza de la luz blanca. El siglo XVIII fue de grandes aportaciones para el área de la química; indudablemente las aportaciones más trascendentales fueron las de Antoine Laurent Lavoisier, que determinó la presencia de elementos existentes en todas las composiciones; además de importantes contribuciones en la biología a través de John Hunter, Rudolf Camerarius, Carl Linneo y Georges Leclerc de Bufón. Sin embargo, con su obra *el discurso del método*, René Descartes fue de los grandes impulsores de la ciencia; su documento fue considerado eje central en el desarrollo del pensamiento científico.

No en todas las sociedades se dieron las condiciones para que la ciencia moderna se gestara y arraigara, y el capitalismo no se extendió hacia todas las ciudades de Europa. En España, por ejemplo, triunfó la Contrarreforma que la sometió a las teorías escolásticas enfocadas a mantener vivos los textos de Aristóteles y Santo Tomás; es decir, mientras la mayor parte de los países europeos vivía grandes avances científicos y tecnológicos y lograba la estabilización de la ciencia moderna, España seguía sometida al dominio de los árabes y judíos. Los tesoros que de América recibían eran para complacencia generalmente de la corte, la iglesia y para el intercambio con países europeos. En este contexto, que caracterizó a España durante los siglos XVII al XVIII, nos permite deducir, que los españoles no llevaron el progreso a las colonias conquistadas; por el contrario, las

sometió en un estancamiento que se sostuvo por largo tiempo. Mientras que, en gran parte de Europa prosperaba la ciencia moderna y se extendían y consolidaban las ideas del Renacimiento (Fortes y Lomnitz, 1991), en la Nueva España la población estuvo ajena a estos desarrollos, la corona española mantuvo en la desinformación a la población y fue muy cuidadosa de que no se recibiera información proveniente de Europa, sobre todo la relacionada con los cambios políticos, sociales y económicos que estaban emergiendo. Aun así la información llegaba a la Nueva España, algunas veces a través del contrabando de libros y periódicos, y posteriormente con la abolición del monopolio comercial de Cádiz (Cruz-Soto y Alonso, 2005). De cualquier manera, estos cambios frenaron el desarrollo de la ciencia moderna en México, que prácticamente se vio limitada y paralizada desde el momento de la conquista. Sobre todo, a partir de la segunda conquista ocurrida con la caída del México-Tenochtitlan. En ese momento se originó una conquista aún más cruel basada en la esclavitud y la destrucción de códices, documentos y todo aquello que tenía que ver con sus costumbres, creencias y formas de organización políticas, sociales y económicas; se impuso a los conquistados otra cultura, lengua y religión. Gracias a los pocos documentos que sobrevivieron, se tiene antecedente de que los antiguos mexicanos contaban con un nivel de conocimientos científicos y tecnológicos que sorprendió a los conquistadores (De Gortari, 1980).

1.2. Desarrollo institucional y profesional de la ciencia internacional

Desde un punto de vista sociológico, la ciencia moderna es aquella que se origina en la Revolución Científica, por tanto está conformada por dos procesos distintos y a la vez complementarios: la institucionalización y la profesionalización. La institucionalización se define como el conjunto de principios reguladores que apoyan las actividades de los individuos en una sociedad a través de pautas organizativas definidas. No es patrimonio de un individuo, ni de un grupo en particular; todo lo contrario, su tendencia es a ser expansiva, tiene lugar en muchos sitios, practicada por distintos grupos y ejecutada por gran número de individuos (Reyna, 2004). Para que una actividad se institucionalice y se convierta

en un sistema social debe cumplir con una serie de requisitos: (1) la sociedad, o parte de ella, debe considerar que la actividad en cuestión desempeña una función socialmente importante y valiosa. En el caso de la ciencia, la sociedad reconoce que ésta tiene como función principal la exploración del mundo y la investigación de la naturaleza, que genere conocimientos acerca de ella, y son los propios miembros de la comunidad científica quienes determinan cuáles son los métodos a seguir para obtener ese conocimiento, así como los criterios de adecuación y evaluación; (2) la institucionalización exige la formulación de normas que determinen las condiciones de cooperación y competencia entre los miembros del sistema y que permitan que éste funcione aunque haya discrepancia acerca de la finalidad u objetivo de dicho sistema. Por otro lado, los resultados deben ser de carácter público de manera que sea posible criticarlos, evaluarlos, y utilizarlos; (3) la institucionalización debe ajustarse a las normas que regulan el comportamiento de los científicos al funcionamiento de otros sistemas sociales y normas que los rigen. Esto significa que se tolerará la libertad de comunicación, crítica e incluso ciertas ideas religiosas o políticas, pero las normas del segundo tipo, es decir, las que determinan las condiciones de cooperación y competencia entre los miembros del sistema, no deben entrar en conflicto con los valores globales de la estructura social (Pérez-Sedeño, 2000).

Por otro lado, de acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española (1992), una profesión es “empleo, facultad u oficio que una persona tiene y ejerce con derecho a retribución”, y un profesional es la “persona que ejerce una profesión”. Sin embargo, el concepto profesión y profesional ha evolucionado a través del tiempo, sobre todo a partir del desarrollo industrial y la división de trabajo, esto dio origen a nuevas definiciones a través del tiempo. Fue durante la década de los 60 cuando surgieron definiciones más precisas, como la de Harold Wilensky (1964) quien estableció que la profesión es una forma especial de organización ocupacional basada en un cuerpo de conocimiento sistemático adquirido a través de una formación escolar, y establece que una actividad pasa a ser considerada como profesión cuando supera las cinco etapas del proceso de profesionalización.

(1) El trabajo se convierte en una ocupación de tiempo integral como consecuencia de la necesidad social; (2) se crean escuelas para el adiestramiento y formación de nuevos profesionales; (3) se constituye la asociación profesional donde se definen los perfiles profesionales; (4) se reglamenta la profesión; (5) se adopta un código de ética profesional (Pacheco-Méndez y Barriga, 1997). Para el caso de las ciencias, los profesionales son los profesores e investigadores y los estudiantes que en un tiempo son receptores de conocimiento, y en otro, se convierten en exponentes y generadores de dicho conocimiento.

La profesión aborda el desempeño de la práctica y la disciplina, se preocupa del desarrollo del conocimiento enriqueciendo la profesión desde su esencia y profundiza en el sustento teórico de la práctica. Pacheco-Méndez (1993b) afirma que la formación académica es considerada como *profesionalismo de ocupación*, en la medida en que la enseñanza de la ciencia obedece cada vez más a patrones de contenido requeridos por la sociedad. Así, la enseñanza de la ciencia presenta características poco distinguibles, y tiende a definirse más por las condicionantes institucionales que la enmarcan que por el tipo de demanda que en un principio deberían de obedecer. Sea lo que fuera, lo que se espera de ella en la esfera social y cultural es la preparación de científicos y técnicos bien formados con ideas libres para dar validez a la esencia del conocimiento científico. Por último, la institucionalización se refleja en la profesionalización, y de alguna manera, la última es confirmación de la primera.

Los primeros intentos de institucionalización de la ciencia en el mundo ocurrieron entre los siglos XVI y XVII, cuando se fundaron las primeras grandes instituciones científicas, que se vieron reforzadas con la publicación y las reuniones científicas que facilitaron el intercambio de información y colaboración entre especialistas. A partir de la existencia de estas comunidades, la ciencia moderna empezó a considerarse una actividad organizada que procura formularse fines prácticos. El siglo XIX asiste al inicio de un proceso que no culminaría sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial, momento en que la ciencia dejó de ser vocación y se convirtió en una profesión para todos aquellos a quienes les atraiga como

actividad, mismos que se van especializando y profesionalizando en función de la distribución y fragmentación de las propias áreas de la ciencia (Olvera-Serrano y Vidal de la Rosa, 1993; Chavoya-Peña, 2002). De esta manera cada científico contribuye y se desenvuelve dentro de un esquema finamente acotado que atiende sus intereses, además desarrolla y se integra en un medio de comunicación, de publicación, de instituciones y de revistas; de igual manera debe buscar su propio reconocimiento, primero, dentro de un círculo restringido de especialistas y pares, y después ante la sociedad a través de la producción científica que vaya generando.

A partir de la institucionalización, la ciencia dejó de considerarse artesanal, aislada y privada desarrollada por catedráticos pioneros y de escasos recursos económicos, para convertirse en gigantescas instituciones que mueven millonarias sumas económicas y movilizan a cientos de científicos y técnicos (Lamo de Espinosa, 2004).

El modelo de institucionalización que siguió gran parte de los países fue el de la universidad, es decir, institucionalizar la actividad académica universitaria. En este sentido, a la universidad se le concibe como un espacio social donde se generan procesos de institucionalización y generación de sistemas normativos y de organización, así como la aplicación de esquemas reguladores de procedimientos (Eisenstandt, 1979). De acuerdo con estudiosos de las estructuras organizacionales, la universidad debe ser el lugar de análisis crítico de la producción, de la transmisión y de la utilización de conocimientos; este principio se traduce en la concepción de la enseñanza que abarca el análisis de las interrelaciones entre el conocimiento y todos los aspectos de la sociedad y la cultura.

En Estados Unidos de Norte América la institucionalización de la ciencia se orientó en un principio al modelo que seguía el país colonizador; sin embargo, posterior a los años de su independencia y la guerra de secesión, y con intereses de expansión y dominio no sólo territorial sino económico, político y militar, se generó

otro tipo de institucionalización de la ciencia, más enfocado a fines particulares que tenían que ver principalmente con fines bélicos (Saldaña-González, 1996). En este modelo de institucionalización de la ciencia los principales actores son el Estado y la industria, por tanto gran parte de su desarrollo depende de los fines que busquen dichos actores. Por otro lado, la conquista de nuevos territorios como Texas, Arizona y Nuevo México les permitió contar con un más amplio recurso natural para la investigación, lo que ayudó para determinar la forma de institucionalizar la ciencia enfocada a aspectos sobre todo de tipo académica., fuera de los intereses del Estado y de la industria.

1.3. La ciencia y su contexto histórico en México

Los aspectos históricos que hacen referencia al desarrollo de la ciencia en México dan muestra de una actividad que tuvo sus bases en la ciencia europea del siglo XVI, que se complementó con las importantes contribuciones de los Mayas, Olmecas y Aztecas quienes demostraron tener amplios conocimientos en botánica, zoología, cartografía, farmacología, mineralogía, arquitectura, ingeniería y desarrollo urbano (Ramos-Lara, 1999). Estos conocimientos causaron sorpresa en los recién llegados, cuando tuvieron el dominio mostraron su interés por la ciencia de los antiguos mexicanos, involucrándose en el aprendizaje de las técnicas particularmente mineras, agrícolas, botánicas y médicas, así como el estudio de las especies vegetales y animales. No obstante, lo que más llamó la atención de los españoles fue el desarrollo de la farmacoterapia que incluía el uso de sustancias puras y compuestas a través de la aplicación de fórmulas. Estas contribuciones científicas no se limitaron únicamente a la colonia, ya que trascendieron las fronteras y llegaron hasta Europa, donde era conocida la medicina nahua y la incorporación del uso de muchas plantas que fueron validadas e incorporadas a la farmacopea internacional (Arechiga-Urtuzuástegui, 1998). De igual forma impactaron los estudios que sobre astronomía y astrología se tenían (De Gortari, 1980). Pero, no sólo los conocimientos científicos penetraron primero en España y después en el resto de Europa, un impacto similar ocurrió con productos como el cacao y la técnica de preparación del

chocolate, el maíz, el tomate, el chile, la papa, el aguacate, el camote, la jícama, el frijol, el nopal y la tuna entre una gran variedad de frutas, verduras, colorantes y plantas de ornato (Kiesling, 2007; Paredes-López y Valverde, 2006; Gortari, 1980), que rápidamente formaron parte tanto de las dietas europeas y del desarrollo comercial e industrial de la época.

Sin embargo, como bien lo menciona E. Trabulse (2003), en el proceso de desarrollo de la ciencia mexicana es posible detectar crecimientos, estancamientos, rupturas y hasta mutaciones propiciados principalmente a causa de los diferentes movimientos políticos, sociales, culturales y educativos que se generaron en las distintas épocas de progreso del país. Esto explica porqué la ciencia en México no se ha desarrollado de manera continua, y en algunas épocas y etapas ni siquiera es notorio su avance. En este ambiente de poco desarrollo científico se generó a nivel nacional la apertura de distintas fuentes de información orientadas a comunicar los resultados de la investigación, y surgieron en ciertos momentos nuevas expectativas para la enseñanza de la ciencia, particularmente en las áreas de matemáticas y física experimental, aspectos que fueron tomados como base para la enseñanza de la ciencia moderna en México (Saldaña-González, 1987).

Un factor de gran importancia para la introducción de la ciencia occidental en los países conquistados, aunque disfrazado con aspectos religiosos, fue el esfuerzo de las órdenes religiosas, que se dedicaron a crear centros de educación en los territorios españoles. En México el interés por proveer la educación superior y una formación científica, derivó en la fundación de varios colegios y universidades (Sagasti, 1981). Entre ellos *la Real y Pontificia Universidad de la Nueva España*, una de las primeras universidades fundadas en La Nueva España, creada y sostenida por la corona y dirigida por el clero (Silva-Herzog, 1974; García-Stahl, 1975). La época colonial se distingue por la apertura de distintas escuelas, entre otras, el *Colegio de las Vizcaínas*, la *Real Escuela de Cirugía*; esta última comenzó sus actividades en 1770 y más tarde cambió su nombre a *Escuela de*

Artes Plásticas; fue el primer centro educativo en el cual se suprimió la instrucción religiosa. En el *Jardín Real Botánico de México*, inaugurado en 1788 se estableció el estudio sistemático de la botánica; en 1792 se creó en la Ciudad de México el *Real Seminario de Minería*, mismo que marca un momento crucial en la historia de la ciencia y la tecnología del país, rápidamente se hizo de merecida fama por sus extraordinarias enseñanzas científicas e investigaciones de laboratorio y sus exploraciones técnicas. La investigación que se producía a través de estas universidades y colegios permitió cierto adelanto científico en la Nueva España, por lo menos mientras se mantuvieron abiertas. En esta época se formalizó la *Sociedad Científica Humboldt* (1862) y el *Observatorio Astronómico de Chapultepec* en 1878 (De Gortari, 1980).

A principios del Siglo XVIII la Nueva España había quedado sumida en el atraso científico, lo que generó una reacción de protesta contra España, y concluyó con la expulsión de los jesuitas, que provocó entre los criollos un sentido nacionalista que se nutrió con las ideas de la ciencia moderna europea. A todo lo anterior se agregaron aspectos como: desventajas políticas, sociales, educativas y culturales de la época, así como el sentido nacionalista que llegaba de Europa, y que fueron elementos de gran influencia en la sociedad de la Nueva España que empezó a prepararse para su independencia, la que finalmente estalló en 1810 y terminó en 1821 con la separación de España. Durante el proceso de lucha, las colonias vieron surgir un gran número de figuras heroicas que dejaron huella en el desarrollo de una nueva identidad nacional, y que más tarde tendrían un papel relevante en el proceso de desarrollo no sólo de la ciencia, sino también en el progreso del país. En este ambiente predominó el desorden y hubo décadas donde la actividad científica fue prácticamente nula. Fue durante este periodo cuando oficialmente se cerró *la Real y Pontificia Universidad* (1833). Finalmente, con el triunfo de la República en 1867, el gobierno de Juárez expidió distintas reformas que aplicaron particularmente en aspectos que tenían que ver con la administración civil y de justicia, la confiscación de los bienes de la iglesia, el establecimiento de la educación primaria gratuita y obligatoria, así como un nuevo

interés en la educación superior. Es cuando se crearon nuevos institutos y sociedades científicas (Fortes y Lomnitz, 1991; Moncada-Maya y Escamilla-Herrera, 1993).

En las últimas décadas del siglo XIX, en el nivel Federal se generó un interés por modernizar la infraestructura política del país y se intentó unificar la nación; por ejemplo, se construyó el ferrocarril, se fundaron principios que prevalecen desde la constitución política de 1827, donde el Estado es responsable de apoyar el desarrollo de la actividad científica. De igual manera, se continuó con el impulso de la educación pública bajo la influencia de un grupo de pensadores que favorecían el positivismo, entre ellos, Gabino Barreda, Justo Sierra y Ezequiel Chávez, quienes contribuyeron a fundar la Escuela Nacional Preparatoria donde además de impartir clases, se organizaron y empezaron a publicar en revistas de corte científico (De Gortari, 1980). Aunque esto no era nuevo, durante el siglo XVII se habían creado revistas de contenido científico, y entre los siglos XVIII y XIX se incrementó el número de publicaciones científicas entre las que sobresalieron: la *Gaceta de México* y ocho periódicos, cuatro de ellos editados por José Antonio Alzate: el *Diario literario de México*, que incluía temas de agricultura y comercio, minería, geografía, astronomía, historia natural y medicina; *Asuntos varios sobre ciencias y artes*; y *Observaciones sobre la física, historia natural y las artes útiles* (Licea de Arenas, 1985). Destaca la publicación de la *Gaceta de México*, y el *Mercurio volante*, editados por el doctor José Ignacio Bartolache, 1772-1773; este último fue la primera revista médica en América de circulación semanal (Cetto y Alonso-Gamboa, 1998), además de otros importantes periódicos y gacetas entre ellos la *Gaceta de literatura* (1778-1795) publicada durante la colonia.

La Revolución Mexicana representa para la ciencia mexicana un estado de estancamiento. Pero también es el suceso señalado por los historiadores de la ciencia, como punto de partida en el avance científico y tecnológico registrado en México durante el siglo XX, sobre todo, por los cambios sociales que ésta generó entre ellos: (1) rompió con la rígida estructura social heredada desde las épocas

prehispánica y colonial; (2) abrió las puertas del país a miles de inmigrantes que buscaban refugio de las persecuciones, en particular nazi y franquista; (3) creó nuevas universidades, institutos, escuelas y centros de investigación en el país; y (4) permitió el paso de miles de mexicanos por universidades extranjeras (García-Fernández, 1988). Al término de la Revolución Mexicana algunos aspectos empezaron a tomar forma, como es el caso de la educación donde se generó una reestructuración que dio como resultado, igualdades educativas para todos, en particular para los pobres que durante mucho tiempo permanecieron marginados a la misma.

Fue a partir de la autonomía de La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ocurrida en 1929, cuando se establecieron los primeros programas de enseñanza de la ciencia en México (Mondragón, 2003); mismos que se ampliaron, complementaron y diversificaron con la integración de nuevas instituciones a la enseñanza de la ciencia. Se deben agregar a este esquema las propuestas y contribuciones del gobierno federal que buscaba mejorar las condiciones económicas del país basado en el progreso científico y tecnológico. En este sentido, a principios de la década de los años 1930, el presidente Lázaro Cárdenas se propuso apoyar y respaldar el crecimiento socioeconómico del país vinculado al crecimiento de una ciencia y tecnología propia, endógena, poderosa y capaz de contribuir al desarrollo del país (Saldaña-González, 2002). Con esta idea, durante su periodo de gobierno se generaron las bases para la integración de una infraestructura científica sólida en nuestro país. Entre los años de 1920 a 1940 se registran las primeras y definitivas bases concernientes al interés del Estado por impulsar el desarrollo científico nacional a través de la creación de organismos responsables de apoyar y promover el desarrollo científico del país; complementaban estas ideas la creación de centros, institutos y escuelas orientadas a formar científicos y profesionales técnicos capacitados para respaldar el desarrollo científico y tecnológico a nivel nacional.

La etapa comprendida entre los años de 1940-1970 es caracterizada por los historiadores y sociólogos de la ciencia como de consolidación y modernización de la ciencia en México. Es en este periodo, cuando gran parte de los nuevos institutos de investigación se crearon en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Entre 1930 y 1973 se integraron a la UNAM doce nuevos institutos, algunos ya existentes sólo cambiaron de nombre. En 1938 se fundó el Instituto Politécnico Nacional (IPN) bajo el cual se integraron diversas instituciones como la Escuela de Ciencias Biológicas que desde 1934 venía funcionando bajo el nombre de Escuela de Bacteriología de la Universidad Gabino Barreda, después se convirtió en la Universidad Obrera. En 1939 se creó el Colegio de México (COLMEX), y el Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales; en 1941 el Instituto de Química, y en 1942 el Instituto de Estudios Biológicos, entre otros institutos al interior de la UNAM. En 1943 se creó el Hospital Infantil de México, un año después el Instituto Nacional de Cardiología, y, en 1945, el Hospital para Enfermedades de Nutrición. A principios de la década de los años 60 se fundó el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN) creado por decreto presidencial en 1961, como la primera institución del país orientada fundamentalmente a la formación de nuevos investigadores en distintas áreas científicas, y a la generación de investigación científica del más alto nivel (Peña, 1995). Por la misma época se originaron otras instancias: el Instituto Mexicano del Seguro Social, el Instituto de Investigaciones Eléctricas, el Instituto Mexicano del Petróleo, y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Por último, a principios de la década de los años 1970 se registró la Universidad Autónoma Metropolitana, como una alternativa para apoyar a la UNAM y al IPN en la carga académica y estudiantil (Arechiga-Urtuzuástegui, 1998; Fortes y Lomnitz, 1991).

Forma parte de este progreso la participación que hicieron al desarrollo de la ciencia mexicana el grupo de científicos que llegaron a nuestro país huyendo de la persecución sobre todo nazi y franquista, los que se incorporaron a las instituciones científicas mexicanas recién formadas, y cuya integración ayudó a

ampliar líneas de investigación y consolidar programas de posgrado (Barahona, Pinar y Ayala, 2005). De igual manera, es importante el papel que desarrollaron los científicos mexicanos que salieron a universidades extranjeras para obtener una formación científica, y que a su regreso contribuyeron en gran medida a integrar nuevos grupos, centros e institutos de investigación. Es también significativa la labor que realizaron los científicos extranjeros, que llegaron como invitados, cubrir cursos y estancias integrándose a los grupos de investigación del país, sobre todo en el CINVESTAV, la UNAM y el Colegio de México.

1.3.1. Desarrollo institucional y profesional de la ciencia nacional

Los esfuerzos por institucionalizar y profesional la ciencia en México, tienen una trayectoria muy larga que parten de la época colonial. Aunque todos los intentos son de apreciar, el que se puede considerar como un primer momento de institucionalización tuvo lugar bajo el flujo de la política ilustrada española, a partir de 1783 (Saldaña-González, 1990), aunque las instituciones científicas de esta época eran privadas y su financiamiento lo proporcionaban fundaciones específicas, es por ello, que los objetivos eran limitados y reducidos a la ciencia aplicada.

La modernización de la ciencia en México ocurrió durante el último cuarto del Siglo XIX, a partir de la constitución del Estado Moderno, más específicamente durante el periodo porfirista; momento en que fue indispensable la incorporación de técnicos y científicos en la organización de las estrategias para el cambio que se buscaba. En este periodo la visibilidad de los hombres de ciencia aumentó y surgieron importantes sociedades científicas que marcan los cimientos de la ciencia moderna, entre otras, la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, y la Sociedad Antonio Alzate (Azuela-Bernal, 1993), únicas instituciones que logran sostenerse a pesar de lo difícil del camino, mismas que actualmente se mantienen pero con nombres distintos; sobre todo la segunda, que finalmente terminó convirtiéndose en la Academia Mexicana de Ciencias. Fue precisamente en la Sociedad Antonio Alzate donde se profesionalizó por primera vez la actividad

científica, pues se pagó por desarrollar el trabajo de investigación. Esta sociedad se fundó con fines específicos de agrupar a investigadores dedicados al desarrollo de las ciencias matemáticas, físicas y naturales, y con el tiempo, se fueron generando resultados inesperados pues se incrementó la producción científica de las áreas asociadas. En sus orígenes la sociedad se sostuvo principalmente del apoyo económico de la propia comunidad, y posteriormente de contribuciones independientes de algunos mentores interesados. El éxito de esta sociedad está ligado a la forma en que se fueron agrupando y a las personalidades que la integraron (Saldaña-González y Azuela-Bernal, 1994).

Sin embargo, las constantes luchas en que se vio involucrado el país, provocaron severos cambios en las instituciones existentes, al igual que en aquellas instaladas por el Estado para desarrollar investigaciones específicas por ejemplo, la exploración del Istmo de Tehuantepec y las campañas sanitarias. Uno de los rasgos particulares estructurales de la ciencia en México es su relación con el Estado, es éste quien establece la infraestructura material a través de la cual se puede llevar a cabo la investigación, de igual manera ha orientado a lo largo de nuestra historia la actividad científica hacia fines específicos (Saldaña-González, 1990). No obstante estas influencias, la ciencia mexicana ha avanzado en forma lenta pero continúa dentro de la precaria estabilidad institucional; su desarrollo se debió más a la voluntad personal de los propios científicos, sin menospreciar que también el Estado fue recuperando espacio y participación con el transcurso de los años. En términos generales se puede concluir que las iniciativas de institucionalización y profesionalización de la ciencia en México son producto principalmente del Estado, y con el tiempo la propia comunidad organizada fue quien gestionó y amplió los espacios institucionales.

Después del movimiento revolucionario de 1910, el país entró en un proceso de reestructuración con miras a lograr su estabilización. Multitud de factores que no concierne introducir aquí se vieron involucrados en la solución y aplicación de medidas pertinentes que coadyuvaron a levantar al país. Como parte de esa

estabilidad se dieron importantes sucesos, por ejemplo, el nombramiento de José Vasconcelos como responsable de la Secretaría de Educación Pública, quien empezó a definir los aspectos relacionados con la educación en México. Vasconcelos se planteó entre sus principales tareas, reorientar la educación en México y puso especial énfasis en la educación de las clases baja, sobre todo la pobre e indígena del país (Mondragón, 2003). Se fundaron instituciones educativas y de educación superior que fueron financiadas por el Estado, y en el seno de éstas se empezó a abrir camino la investigación científica (Reyna, 2004). Esto quiere decir que en México como en otros países, la ciencia se originó como parte de la esencia de las universidades públicas, y su desenvolvimiento ha estado condicionado en gran medida a las instituciones de educación superior. Por eso la investigación en México se ha desarrollado con lentitud y dificultad, además de carecer de una sólida tradición científica; el impulso a la investigación ha requerido en los últimos años de transformaciones sobre todo de la concepción misma del quehacer educacional. En este contexto, el proceso de institucionalización y profesionalización de la ciencia en México está ligado al desarrollo de las universidades, sobre todo a la Universidad Nacional Autónoma de México. En particular a partir de su autonomía logró la apertura de los primeros institutos y centros de investigación del país, así como los primeros programas de estudio orientados a cubrir la enseñanza de áreas de investigación como la física y las matemáticas. Por lo anterior, casi de manera natural, la Universidad es uno de los primeros espacios importantes donde se reflexiona de manera sistemática sobre los aspectos que tienen que ver con educación, más específicamente la educación superior y académica (Gutiérrez-Serrano, 1997). Además, es considerada como la entidad donde se generan los procesos de institucionalización de sistemas normativos y de organización de la educación y la ciencia del país (Pacheco-Méndez, 1993a). Sin embargo, arraigar la ciencia en las universidades es una tarea compleja, porque el trabajo científico es una actividad con criterios y exigencias propios que difieren con los de la docencia; su institucionalización y profesionalización se encuentra sujeta no sólo al aparato universitario y al conjunto de ordenamientos institucionales que la constituyen,

sino también a determinadas actitudes científicas con respecto a la profesión y a la investigación. En este sentido, el sujeto debe cumplir con dos aspectos básicos para su formación: (1) su vínculo y compromiso con el campo científico y cultural; (2) su función social e institucional frente al desempeño profesional y científico.

En México, el proceso de construcción de la profesión científica se organizó en función de las particularidades y necesidades de cada una de las instituciones, grupos y áreas de investigación que a nivel nacional se fueron integrando a la actividad científica. En ese ambiente de pocas definiciones se empezó a profesionalizar la actividad científica en nuestro país, de alguna manera esta situación permitió un acoplamiento más suave de los científicos dentro sus respectivas instituciones. Además se tuvo tiempo para establecer las bases mínimas de carácter general para la organización del trabajo institucional (Reynoso-Angulo, 2001).

La creación de nichos científicos requiere de la convivencia de distintos factores, entre otros: el interés de las autoridades por legitimar la ciencia, recursos económicos, humanos y materiales. Es decir, la formación de recursos humanos se encuentra condicionada por todo un sistema de relaciones que prevalece en una determinada formación sociocultural, por el conjunto de normas establecidas y asumidas por la comunidad científica, materializadas en las instituciones y por los parámetros propios de la situación económica, política, social y cultural. De igual manera, las formas de organización del trabajo científico, entre otras: comunicación científica, vínculos entre científicos, jerarquías, y actitud ante la formación de nuevos científicos, contribuyen a la preservación del propósito por alcanzar el reconocimiento institucional y social del trabajo científico. De acuerdo con T. Pacheco Méndez (1990) los mecanismos de institucionalización de la actividad científica se resumen de la siguiente manera:

- El conjunto de valores y principios sobre la importancia de los tópicos de investigación, así como los criterios de selección subyacentes; los juicios

que inciden sobre la objetividad, la exactitud y las pautas establecidas sobre el indispensable rigor científico.

- La organización social e institucional de la actividad científica y la asignación de papeles sociales dentro del campo.
- Las condiciones histórico-estructurales que inciden en el mantenimiento de un código cultural socialmente asumido en torno a la actividad científica.
- El predominio y preferencias sobre teorías, métodos y técnicas, tendencias o escuelas.
- Los tipos de producción científica, modalidades y uso de productos.
- Los mecanismos de difusión, información y comunicación de los resultados de investigación.
- El discurso científico, el político-social y el institucional, su concepción sobre el papel de la ciencia y sobre los requerimientos sociales.
- La valoración social e institucional sobre los procesos y productos, así como sobre las actividades individuales y de los grupos de científicos.
- El otorgamiento de status y prestigio, según se satisfagan los requerimientos e intereses provenientes de los grupos de poder.

1.3.2. Consolidación de la ciencia moderna en México

De acuerdo con el panorama anterior, la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México se concretó con la intervención del Estado Mexicano que implementó como medidas de apoyo: (1) la aplicación de políticas científicas gubernamentales, que terminaron por convertirse en *planes y programas para el desarrollo de la ciencia y la tecnología* (Pacheco-Méndez, 1993b); (2) la creación y participación de distintos organismos responsables de promover y apoyar el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el ámbito nacional. Este proceso se originó con la reestructuración educativa de 1937, ocurrida durante el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas quién advertía en el crecimiento de la ciencia y la tecnología el progreso económico del país. En este esquema, se consideró que era necesario crear una institución que prepara técnicos profesionales especializados que ayudaran en el desarrollo de la industria mexicana. De esta

idea surgió el Instituto Politécnico Nacional (IPN), dependiente de la Secretaría de Educación Pública (SEP), cuya estructura quedó constituida por un grupo de escuelas, entre otras: Escuela Superior de Ingeniería Textil, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Escuela Superior de Comercio y Administración (Barahona, Pinar y Ayala, 2005). A proyectos como éste, le siguieron otros que de una u otra manera concurren en la definición de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en nuestro país. Concretó aún más la idea la propuesta que diversos organismos internacionales hicieron a principios de los años 60 a los países latinoamericanos. En éstas se establecía que el desarrollo de una infraestructura científica y tecnológica podría colocarlos en condiciones de mejorar su situación económica y social. En respuesta a estas sugerencias, durante los años sesenta, en nuestro país al igual que en otros países de la región latinoamericana, se crearon los primeros organismos y consejos encargados de gestionar aspectos relacionados con la ciencia y tecnología (Casas, 1983). La iniciativa fue buena, pero no prosperó, porque los países de la región ya seguían el curso de un modelo de desarrollo económico basado en el desarrollismo y éste ya los había sometido a la dependencia tecnológico industrial de la época. Dicha dependencia se generalizó más a mediados del periodo de los años sesenta, lo que provocó una limitación en el plan oficial dirigido a crear y promover las bases de una política científica y tecnológica en nuestro país. No obstante, las adversidades que se presentaron, se aprovechó la experiencia y avances que se lograron durante el periodo de 1920-1940, cuando se creó dentro de la Secretaría de Educación Pública el Consejo Nacional de la Educación Superior y de la Investigación Científica, organismo orientado a apoyar aspectos de educación e investigación científica. Sin embargo, no fue sino hasta el periodo de 1960 a 1970 cuando se dieron las condiciones para que se crearan organismos como la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) y el Instituto Nacional de Investigación Científica (INIC). Los años posteriores a 1970 son los más representativos para la ciencia mexicana, porque finalmente logró su institucionalización y profesionalización a partir de la constitución de un aparato administrativo orientado a sentar las bases en materia de política científica y tecnológica. Con este fin nació el Consejo

Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) órgano responsable de fijar, instrumentar, ejecutar y evaluar la política nacional en ciencia y tecnología (Tinajero-Villavicencio, 2005). De acuerdo con estudiosos como K. Klein y H. Sampaio (1996), el CONACYT en sus primeros años no sorprendió a nadie porque se vio muy lento en el desarrollo de políticas a seguir; fue a partir de 1976, después de elaborar y dar a conocer su primer programa de concesión de becas, cuando empezó a recobrar importancia. Actualmente se distingue por cumplir con funciones principales como otorgar becas de posgrado, y destinar el presupuesto para gastos de investigación (Pérez-Tamayo, 2005). Sin embargo, a varias décadas de haberse constituido, sigue siendo tema de discusión y polémica porqué no ha logrado determinar los lineamientos que en ciencia y tecnología convienen a nuestro país (Gómez-Loenzo, 2008).

Hay algunas leyes e instancias también implementadas por el Estado para respaldar aspectos que tienen que ver con materia legislativa en ciencia y tecnología, entre ellas: (1) Ley del Registro Nacional de Transferencia de Tecnología y el Uso y Explotación de Patentes y Marcas; (2) Ley de Invenciones y marcas; (3) Ley para Promover la Inversión Mexicana y Regular la Inversión Extranjera.

Para promover la inversión se propuso: (1) El Fondo para el Fomento de las Exportaciones; (2) El Fondo Nacional de Estudios de Pre-inversión; (3) Fondo Nacional de Fomento Industrial, mismas que muestran una grave desarticulación entre ellos, incluyendo las más recientemente publicadas a través del Diario Oficial de la Federación (Gómez-Loenzo, 2008).

A principios de los años 80 los bajos sueldos de los investigadores generaron una problemática que obligó a tomar medidas que ayudaran a evitar que los escasos científicos mexicanos emigraran hacia el extranjero en busca de mejores salarios y condiciones de trabajo; o bien, para eludir que orientaran sus esfuerzos hacia actividades mejor remuneradas. La solución fue la creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) fundado en 1984, su finalidad es promover la

investigación de acuerdo a las prioridades establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo (Schoijet, 1991). Sin duda, el surgimiento del SNI significó un alivio económico para la pequeña planta científica que en esa época había en el país, y para respaldar la ciencia en el ámbito nacional. El SNI funciona en base al establecimiento de tres categorías de miembros base, I, II y III, y cuando se rebasan estos límites se habilita una cuarta que corresponde al investigador emérito. Actualmente a través del reglamento del SNI se promueve y alienta a los ayudantes de investigación a continuar con su trabajo, otorgando por medio de los investigadores nacionales de nivel III estímulos económicos para un máximo de hasta tres ayudantes, mismos que son propuestos por el investigador nacional (Sistema Nacional de Investigadores, 2000).

Para las comunidades científicas el SNI es uno de los órganos de mayor importancia en el país, concentra a los investigadores más productivos, y sus lineamientos se han ido reorientando en función de las demandas y deficiencias que el propio reglamento presenta, las que generalmente están orientadas hacia el nivel de candidatos.

La labor más notoria del SNI está relacionada con la década de los años 90, porque logró una mayor participación de investigadores tanto del área de ciencias como de sociales, artes y humanidades. De igual manera, logró incrementar el número de publicaciones internacionales ISI, y la publicación en todas las áreas, sobre todo, de biología, química, ciencias exactas, ciencias de la salud, ciencias sociales y humanidades, ingenierías y áreas multidisciplinarias (Veloso, González-Brambila y Reyes-González, 2006). Los datos reportados en 2003 demuestran que el SNI se sigue fortaleciendo, pues al término de este año ya tenía afiliados 10 189 miembros, entre ellos 1 631 están en calidad de candidatos, 5,785 son nivel 1, 1,897 nivel 2 y 876 nivel 3 (Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, 2005; Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2006).

1.3.3. Programas de posgrados en México

Desde sus orígenes, el CONACYT integró como parte de sus principales tareas desarrollar un programa en el que se definiera la forma de otorgar las becas de apoyo a estudios de posgrado. Seis años después de su fundación (1976) dio a conocer su primer programa de concesión de becas; bajo este esquema se otorgaron gran parte de ellas sobre todo a estudiantes que salían al extranjero para estudiar en distintos programas de posgrado. Lo que quiere decir, que durante el tiempo que estuvo operando este programa, la formación de científicos mexicanos dependía casi por completo de las universidades y centros de investigación extranjeros. Ante este panorama, a principios de los años 90 el CONACYT optó por modificar su política científica que consistió en fortalecer los programas de posgrado que a nivel nacional se impartían con el fin de elevar su calidad académica y llevarlos al nivel de las mejores universidades del mundo. Se propuso la creación de un Padrón de Programas de Posgrado de Excelencia en Ciencia y Tecnología (García-Garduño, 1990) cuyo objetivo particular fue impulsar la oferta de programas de posgrado nacionales de calidad y orientar a los aspirantes en la elección de programas formativos rigurosos, con alto nivel académico. Con estas medidas distintas instituciones y centros de investigación del país aceptaron el reto, y se interesaron en acreditar sus programas a través de este nuevo mecanismo, que incluía como medidas de calidad: eficiencia terminal, tasa de deserción, tiempo medio de egreso, eficiencia de titulación, índice de titulación, tasas de reprobación, tasa de retención, seguimiento de egresados y costo de la docencia.

En 1991 cuando el CONACYT empezó a operar el *Padrón de Programas de Posgrado de Excelencia en Ciencia y Tecnología* (PE), había en el país 1 689 programas de posgrado (especialización, maestría y doctorado), de estos 424 (25%) fueron calificados como de excelencia y se incorporaron al padrón (Tinajero-Villavicencio, 2005). Al transcurso de los años, con previo conocimiento del mecanismo a seguir para incorporar programas de posgrado de excelencia, y con el apoyo que CONACYT ofreció para el desarrollo de los mismos, las cifras sobre el crecimiento de PE siguieron una eskuena de alti-bajos y mantenimiento.

En general se puede decir que esta propuesta fue un gran avance para los programas de posgrados que se ofrecen en México, y son tan buenos como los de las universidades extranjeras.

En el año 2000 el CONACYT, en conjunto con la Secretaría de Educación Pública (SEP) y la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior (ANUIES), con la idea de incrementar el número de profesores e investigadores en el país, y por supuesto, una mayor participación en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), dieron a conocer una nueva propuesta de mejora de los posgrados en México a través del *Padrón Nacional de Programas de Posgrado* (PNPP). Entre los objetivos que condujeron al desarrollo de esta propuesta se incluye establecer lineamientos e indicadores cualitativos y cuantitativos, tanto para programas orientados a la investigación como para el ejercicio experto en un ámbito profesional específico. Se intentó también corregir algunas omisiones que se tuvieron en el programa anterior, donde no se tomaron en cuenta los programas con orientación profesional, los niveles de especialización y el tipo de programa. Por lo anterior, a partir de 2001 empezó a operar el *Padrón Nacional de Programas de Posgrado* cuyos fines son: (1) reconocer la buena calidad tanto de los programas orientados hacia la investigación como a la orientación profesional; (2) establecer un esquema de rendición de cuentas y en la medida que los programas logren su registro podrán recibir apoyos complementarios; (3) evaluar aquellos programas que soliciten su registro en el padrón, a través de una metodología establecida con anterioridad. En esta nueva propuesta únicamente quedaron contempladas dos categorías de programas: de alto nivel, y competentes a nivel internacional, mismas en las que actualmente están integrados los programas de posgrado de gran parte de las instituciones del país.

1.3.4. Relación Universidad-Empresa

Las constantes crisis económicas y sociales que ocurren en nuestro país, advierten que se requiere de nuevas ideas productivas que promuevan el desarrollo de la industria nacional. Las pequeñas y medianas empresas (PYMES)

constituyen un sector empresario que requiere de apoyo para sobrevivir, reconvertirse y adecuarse tecnológicamente a fin de proveer al mercado interno y externo en el que se desenvuelven.

Por su parte las universidades de educación superior poseen mucho conocimiento acumulado, y también el potencial de desarrollo con fines industriales y comerciales específicos para cada PYME. Además la incorporación de profesionales universitarios a las empresas del sector es la vía tradicional de proyección social de la Universidad. Sin embargo, las relaciones entre universidad y empresas no han sido históricamente fructíferas ni habituales. Una causa de esta deficiencia institucional, ha sido la inadecuada o insuficiente forma contractual para realizar proyectos conjuntos. Este tema tan importante para los países particularmente en vías de desarrollo, merece reflexión sobre todo, para entender bien el análisis de los procesos mediante los cuales se producen y se transfieren los conocimientos. En este sentido, como bien dice R. Casas (2001), las innovaciones son procesos extremadamente complejos y la única forma efectiva de analizarlos es siguiendo las interacciones entre empresas, universidades e instituciones públicas.

En nuestro país este asunto ha toma fuerza desde hace algunos años, y quienes más han documentado el desarrollo han sido R. Casas (2001), M. Luna (2003), M.J. Santos y R. Gortari (2003) y R. Tirado y M. Luna (2001) bajo términos como: *redes de conocimiento, espacios regionales de conocimiento o, redes y flujos de conocimiento*, han realizando diversos estudios de campo para determinar el nivel de desarrollo que existe en nuestro país, a través de la identificación de las entidades federativas, las empresas e instituciones donde se han establecido y están prosperando las redes de conocimiento, mediante la instalación de parques científicos y tecnológicos, ubicados como espacios físicos vinculados a universidades, centros de investigación y empresas. De acuerdo con estos estudios, se puede constatar que en México existen esfuerzos muy importantes pero insuficientes, lo que se debe particularmente a la falta de políticas y métodos más precisos y adecuados de interacción entre los diversos sectores involucrados.

No obstante, es necesario tomar en cuenta algunas razones por las cuales es necesario provocar la relación universidad-empresa, o academia-empresa, según L.A. Martínez Rodríguez (2009) las siguientes son razones de peso:

- 1). A través de la vinculación es posible advertir el momento en que un país logra un nivel industrial y tecnológico, en ese momento queda abierto a la competencia internacional.
- 2). El desarrollo tecnológico consiste en generar conocimientos. La tecnología es una forma de conocimiento.
- 3). Se requiere invertir en investigación y desarrollo, lo que significa asignar recursos para obtener resultados (nuevos conocimientos).
- 4). Los cambios en las tendencias de los mercados, la apertura de fronteras, los tratados de comercio, las excepciones arancelarias para captar inversión, así como numerosos factores más, están golpeando a nuestros productores.

Por lo anterior, es indispensable que la dotación de las universidades, en capital intelectual y en equipos, sobrepase los umbrales mínimos y alcanzar una masa crítica que les permita no solamente ir asimilando las nuevas tecnologías, sino también, participar en su generación y mejora continua. Evidentemente esto no es posible si no se dispone de una base de profesores e investigadores con dedicación exclusiva.

Por último, este nuevo paradigma de vinculación universidad-empresa está fundamentado por la ausencia de un enfoque estratégico que corresponda con las expectativas reales de las misiones y las acciones operativas de los diferentes mecanismos de vinculación utilizados por ambas partes. En el fondo de esta ausencia, las siguientes características han estado marcando las pautas de la vinculación:

- Necesidades y oportunidades que son poco identificadas
- Las actividades no se concretan en una negociación estratégica
- Se tienen diferentes percepciones del proceso de investigación y su

implementación

- Marcadas diferencias empresariales
- Poca integración entre los diferentes agentes de la infraestructura tecnológica a nivel universitario (Martínez-Rodríguez, 2009).

1.3.5. La ciencia mexicana en el contexto regional e internacional

Una de las características del sistema social de la ciencia y parte fundamental de las normas que gobiernan la ética profesional de la misma, señalan que la ciencia es de carácter internacional por tanto no puede ser aislada, privatizada o monopolizada (Merton, 1957; Arechiga-Urtuzuástegui, 1998). A estos principios está integrada la ciencia mexicana, es por ello, que está presente en el ámbito de la ciencia internacional al compartir el conocimiento científico y abrir sus resultados de investigación a través del modelo de comunicación formal de la ciencia. Sin embargo, la ciencia mexicana al igual que la de otros países en vías de desarrollo, es considerada como una ciencia periférica por permanecer en los márgenes de producción e impacto científico, y por las condiciones sociales, políticas y económicas en que se desarrolla. Por lo anterior, vale la pena hacer referencia a algunos aspectos que están directamente relacionados con el desarrollo de la ciencia en México, y que en cierto modo, son considerados como debilidades para su progreso:

- 1). México, es uno de los países que menos invierte en investigación y desarrollo. El 0.3% y 0.4% de PIB que generalmente otorga el gobierno federal es insuficiente, comparado por ejemplo, con el PIB que reciben para el mismo rubro países como España o Corea del Sur, cuyos crecimientos en los últimos 30 años se han duplicado o incrementado hasta en nueve veces (De la Peña, 2004). La OCDE recomienda el uno por ciento de PIB en ciencia y tecnología, asegurando que esta inversión repercuta en el progreso de la economía de los países que sigan la recomendación.
- 2). Cuenta con plantillas académicas muy pequeñas, en comparación con el tamaño de la población total del país.

- 3). Presenta graves problemas de desarrollo social y económico, un alto grado de analfabetismo y una distribución inequitativa de la riqueza (Arechiga-Urtuzuástegui, 1998).
- 4). Como el resto de los países en progreso, México es considerado un país joven con una trayectoria escasa de 39 años de haberse integrado al desarrollo científico y tecnológico, pero con una tradición científica extraordinaria que proviene de las culturas prehispánicas.

Aun con estas adversidades, nuestro país ha crecido en producción e impacto científico, sobre todo, en las últimas décadas donde ha logrado la internacionalización, y la diversidad en todas las áreas de investigación cubiertas a nivel nacional. Sin embargo, cuando se compara en términos de producción e impacto científico, está por debajo de otras naciones, su aportación a la ciencia internacional es de 0.70% en el periodo de 2000-2004, menos que Brasil pero más que el resto de los países latinoamericanos (Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, 2005). En consecuencia la contribución mexicana a la producción internacional generalmente va a ser mínima, como resultado de la baja inversión destinada al desarrollo en ciencia y tecnología, y la pequeña planta académica nacional. Por otro lado, aunque la comunidad científica es escasa, estos investigadores han demostrado ser productivos y consiguen un considerable impacto a través de los trabajos publicados principalmente en inglés y en revistas de corriente principal (International Foundation for Science, 2004). En este sentido, comparando la producción e impacto científico de México con otros países, apenas si sale librado, sobre todo por la aportación que logran generalmente 20 de las 200 instituciones que existen en el país. Por otro lado, se han identificado casos específicos donde investigadores mexicanos se imponen por encima de otros autores tanto nacionales como internacionales (Velo, González-Brambila y Reyes-González, 2006).

A partir de los indicadores dados a conocer por los distintos organismos orientados a generar este tipo de información, así como los reportados en este

estudio, es posible determinar la participación que tiene la ciencia mexicana en el ámbito regional e internacional. Por ejemplo, el CONACYT en el informe general del estado de la ciencia y la tecnología de 2005 (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2005) reportan lo siguiente: México está ubicado en la posición 21 dentro del grupo de países miembros de la OCDE, en el ranking mundial en el año 2002 ocupaba el lugar 31 en producción científica con 38 089 trabajos, y la posición 33 por las 157 922 citas acumuladas (Institute for Scientific Information, 2002). Las áreas con mayor participación en producción son: física, biología molecular, celular y genética, biología vegetal, animal y ecología y química; entre las áreas que más están creciendo están: física y ciencias del espacio, ciencias de la tierra, tecnología de los materiales, ganadería y pesca (Foro Consultivo Científico Tecnológico, 2006).

A nivel América Latina y el Caribe, México permanece en el segundo lugar después de Brasil. Chile y Argentina destacan por el ser los únicos países latinoamericanos que tiene más publicaciones con relación al número de habitantes. México duplica a los países latinoamericanos y caribeños en el porcentaje de colaboración científica principalmente llevada a cabo con Estados Unidos, seguido de Venezuela, Chile, Brasil y Argentina. Brasil es el único país de la región que supera el PIB destinado para el desarrollo en ciencia y tecnología, lo que obviamente incide en el incremento de la planta académica y la producción científica. Para el resto de los países latinoamericanos existe una correspondencia entre el PIB y la producción científica que reportan. Por último, México y Chile de acuerdo con el SCI, sobresalen en áreas de investigación como medicina clínica, astrofísica y física; Brasil en física, biología molecular, genética e ingeniería; Argentina en biología y bioquímica y en química, finalmente, Venezuela tiene participación a través de las áreas de ecología y medio ambiente y matemáticas (Ríos-Gómez, y Herrero-Solana, 2005; Foro Consultivo Científico y tecnológico, 2006).

Como bien señala E. Trabulse (2003) la ciencia en México ha pasado por distintos estados, en particular deterioros, sin embargo, sigue viva se continúa produciendo

y difundiendo en todos los niveles, sobre todo internacional, y es un hecho que continuará desarrollándose en un esquema similar aun cuando los contextos se vayan modificando, quizás no se llegue a un estancamiento completo, pero con seguridad tendrá momentos de estabilización, en particular, si el Estado continúa con la política de otorgar cada vez menos recursos para su desarrollo, y continúa siendo inadvertida para la industria del país. Tal como lo muestra la tabla 1-1 que presenta el porcentaje de la distribución del PIB durante un periodo de 25 años, así como se observa el PIB nunca ha alcanzado el 0.50. En este sentido la recomendación de organismos como la UNESCO está lejos de cumplirse, los años en que más se ha incrementado son 1981 y 1998 durante los periodos presidenciales de López Portillo y Zedillo Ponce de León.

Tabla 1-1. Distribución anual del PIB asignado en ciencia y tecnología en México: 1989-2004.

Años	PIB Ciencia y Tecnología	Presidente en turno
1980	0.43	López Portillo
1981	0.46	López Portillo
1982	0.42	De la Madrid
1983	0.32	De la Madrid
1984	0.37	De la Madrid
1985	0.35	De la Madrid
1986	0.35	De la Madrid
1987	0.28	De la Madrid
1988	0.27	Salinas de Gortari
1989	0.28	Salinas de Gortari
1990	0.30	Salinas de Gortari
1991	0.32	Salinas de Gortari
1992	0.37	Salinas de Gortari
1993	0.37	Salinas de Gortari
1994	0.41	Zedillo Ponce de León
1995	0.35	Zedillo Ponce de León
1996	0.35	Zedillo Ponce de León
1997	0.42	Zedillo Ponce de León
1998	0.46	Zedillo Ponce de León
1999	0.41	Zedillo Ponce de León
2000	0.42	Fox Quesada
2001	0.41	Fox Quesada
2002	0.39	Fox Quesada
2003	0.40	Fox Quesada
2004	0.36	Fox Quesada

Por último, la promoción y difusión de la actividad científica se ha vuelto una tarea no solo de los organismos responsables de promoverla, sino también, de la propia comunidad científica, quienes con la idea de captar perfiles han estado promoviendo entre los niños y adolescentes del país el interés por la ciencia y la tecnología. A lo anterior hay que agregar que el CONACYT, por su parte, ha estado dirigiendo esfuerzos por lograr una cultura científica a nivel nacional, entre otros se pueden citar: *la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología*, y el programa de radio titulado *Radio Conciencia*, este último dedicado a difundir las investigaciones mexicanas y discutir temas de interés, así como los espacios que canales como el del IPN y la UNAM otorgan a promover la investigación científica del país. Sin embargo, estos esfuerzos son insuficientes y están lejos de lograr una verdadera promoción y difusión de la ciencia en México que en el ámbito nacional se está desarrollando.

A manera de conclusión se puede decir que, la ciencia mexicana proliferó notablemente en términos de expansión y descentralización, a partir de la profesionalización e institucionalización de la ciencia y la actividad científica en México. De igual forma muestra progresos muy importantes visible a través del incremento de programas de licenciatura, maestría y doctorado en distintas disciplinas científicas, incorporados particularmente en instituciones de educación superior y centros de investigación. El periodo comprendido entre 1960 y 1982 da muestra de este crecimiento, pues se incrementó el número de instituciones de educación superior, las tasas de escolarización y los puestos académicos. Esto quiere decir, que la educación científica en el transcurso de 22 años presentó un crecimiento acelerado en la matrícula académica del país (Gil-Antón, 1994). El estado de la ciencia en México no es el mismo que se reflejaba hace tres o cuatro décadas. Pero tampoco es el esperado, sobre todo cuando se trata de un país con una amplia tradición científica y con grandes expectativas de crecer en el campo de la investigación. Sin embargo, como se ha mencionado, nuestra ciencia se ha desarrollado fuera de una base social firme que sustente los procesos de producción científica, del mismo modo se carece de una cultura científica nacional

bien definida (Pacheco-Méndez, 1990). Por tanto, para llevar a un mejor nivel la institucionalización y profesionalización de la ciencia y la actividad científica en México, se requiere además de una revisión del estado que estos aspectos presentan, el análisis de las bases que lo soportan donde se involucren todos y cada uno de los elementos que intervienen y que juegan un papel fundamental en el progreso de la ciencia mexicana, incluyendo una política científica y tecnológica claramente definida dentro de las políticas del gobierno federal. Asimismo, el tratamiento oportuno y adecuado de estos diferentes factores contribuya a mejorar el trabajo de los científicos en el ambiente donde corresponde desenvolverse. Es conveniente concebir el sistema de la ciencia y la tecnología como “un conjunto de entidades y actividades relacionadas que generan y transforman el bien intangible en conocimiento” (Amadeo, 1978). Este esquema permite construir una metodología de planificación de la ciencia y la tecnología propia e independiente a las distintas áreas y regiones donde se hace ciencia.

La UNESCO, por su parte, considera que la educación, la ciencia y la tecnología son componentes importantes en la construcción del nuevo orden económico internacional, subrayando que en sus aplicaciones modernas, especialmente industriales, es donde se pretende elaborar tecnologías cada vez más adelantadas y asegurar con ellas el poder tecnológico, político y militar (Pacheco-Méndez, 1990). Este espacio queda prácticamente acotado para los países en vías de desarrollo, por no contar con políticas ni siquiera orientadas a cubrir sus propias necesidades.

Tanto el CONACYT como el SNI forman parte de lo que se conoce como política científica nacional, donde intervienen otras instancias también gubernamentales por ejemplo, El Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia (CCCP), que se concibió a unas semanas de tomar protesta como presidente de México el Lic. Carlos Salinas de Gortari. Este organismo tiene como misión principal, fungir como consejo consultivo y apoyar en las decisiones orientadas en ciencia y tecnología. Según los datos mostrados en la tabla 1, fue durante el gobierno salinista cuando

más se incrementó el PIB destinado a ciencia y tecnología. El otro periodo donde también se incrementó es el correspondiente al presidente Ernesto Zedillo; fuera de estos periodos no se volvió a incrementar, al contrario parece ir en retroceso, a pesar de los compromisos que generalmente hacen los candidatos presidenciales. Existen otras instituciones nacionales e internacionales, sobre todo estas últimas, que continúan desarrollando propuestas para mejorar las condiciones de la ciencia no solo mexicana sino también Latinoamérica y del Caribe.

Por último, se puede decir que las estrategias seguidas por el gobierno federal para conducir la investigación científica y tecnológica de este país carecen de una base constitutiva firme y sólida, dado que los diferentes organismos creados para apoyar y conducir la actividad científica del país se mueven de manera aislada y con lineamientos que no ayudan a guiar a las comunidades científicas hacia fines ideales o reales de investigación. Sin embargo, estudios como estos orientados al análisis de la literatura científica publicada por la comunidad académica del país son muy importantes, sobre todo por el panorama tan completo que presentan en torno al desarrollo de la ciencia nacional. A la vez que son elementos básicos para el desarrollo o reajuste de políticas científicas en distintos niveles.

Referencias citadas

- AMADEO, E. (1978).** Los consejos de ciencia y tecnología en América Latina. *Comercio Exterior*, 28(12):1440.
- ARECHIGA-URTUZUÁSTEGUI, H. (1998).** Ciencia, universidad y medicina. México: Siglo XXI: El Colegio de Sinaloa, 262 p.
- AZUELA-BERNAL, L.F. (1993).** La investigación científica en el porfiriato desde la perspectiva de las principales sociedades científicas. Tesis de Maestría. México: UNAM, FFyL, Hostoria, 263 p.
- BARAHONA, A, PINAR, S Y AYALA, F.J. (2005).** Introduction and Institutionalization of Genetics in Mexico. *Journal of the History of Biology*, 38: 273-299.
- BERNAL, J.D. (1979).** La ciencia en la historia. México: Nueva Imagen. pp. 373
- CASAS, R. (2001).** La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México. Barcelona; México: Anthropos: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales, 381 p.
- CASAS, R. (1983).** Ciencia y tecnología en México. Antecedentes y características actuales. *Revista Mexicana de Sociología*, 45(4):1323-1334.
- CETTO, A.M. Y ALONSO-GAMBOA, O. (1998).** Scientific Periodicals in Latin America and the Caribbean a global perspectiva. *Interciencia*, 23(2): 84-93.
- CHAVOYA-PEÑA, M.L. (2002).** La Institucionalización de la investigación en ciencias sociales en la Universidad de Guadalajara. *Revista de la Educación Superior*, 31(121): 7-25.

- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2005).** Informe general del estado de la ciencia y la tecnología: México. México: CONACYT, 4 p. Disponible en: <http://www.CONACYT.mx/RendicionCuentas/docs/Difusion-2005.pdf>, (03/04/07).
- CORDÓN, F. (1982).** La función de la ciencia en la sociedad. Ed. corregida y aumentada. Barcelona: Anthropos, pp. 41-43.
- CRUZ-SOTO, R. y ALONSO, J.A. (2005).** Las publicaciones periódicas y la formación de una identidad nacional. Disponible en: http://www.ejournal.unam.mx/historia_moderna/ehm20/EHM02001.pdf, (octubre, 2006).
- DE GORTARI, E. (1980).** La ciencia en la historia de México. 2ª ed. México: Grijalbo, 446p. Serie tratados u manuales Grijalbo.
- DE LA PEÑA, J.A. (2004).** Un vistazo a la ciencia en México. *Ciencia Ergo Sum*, 11(2): 6-11.
- EISENSTANDT, S.N. (1979).** Instituciones sociales. *En Enciclopedia de las Ciencias Sociales*, v. 6. Madrid: Aguilar.
- FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (2006).** Diagnóstico de la política científica, tecnológica y de fomento a la innovación en México (2000-2006). México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 300 p. Disponible en: <http://www.foroconsultivo.org.mx>, (Abril, 2007).
- FORTES, J. Y LOMNITZ, L. (1991).** La formación del científico en México. México: Siglo XXI. 207 p.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, H. (1988).** La ciencia prisionera del Siglo XX. *Information Científica y Tecnológica*, 10(144): 11-14.
- GARCÍA-GARDUÑO, J.M. (1990).** El desarrollo del posgrado en México: el caso de los sectores público y privado. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 20(1): 15-20.
- GARCÍA-STAHN, C. (1975).** Síntesis histórica de la Universidad de México: historia de la cultura en México. México: UNAM, 145 p.
- GIL ANTÓN, M. (1994).** Los rasgos de la diversidad: un estudio sobre los académicos mexicanos. México: UAM-Azcapotzalco, 180 p.

- GUTIÉRREZ-SERRANO, N.G. (1997).** Orígenes de la institucionalización de la investigación en México. Tesis de Maestría. México, CINVESTAV, Investigaciones Educativas, 238 p.
- INSTITUTE FOR SCIENTIFIC INFORMATION (2002).** Essential Science Indicator's: january-june 2002. Philadelphia, EUA. Disponible en: <http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=ESI&Func=Frame>, (Abril, 2007).
- INTERNATIONAL FOUNDATION FOR SCIENCE (2004).** IFS Annual reports 2004: emphasis on Latin America. 36 p. Disponible en: <http://www.ifs.se/Publications/publications.asp?id=a1>, (04/04/07).
- KIESLING, R. (2007).** Origen, domesticación y distribución opuntia ficus-indica. Disponible en: <http://www.jpacd.org/Jpacd98/kiesling.pdf>, (febrero, 2007).
- KLEIN, K. AND SAMPAIO, H. (1996).** Actores, arenas y temas básicos. México: FCE, 202 p.
- LAMO DE ESPINOSA, E. (2004).** Información, ciencia y sabiduría. En Forum Universal de les Cultures Barcelona 2004. p. 1-11. Disponible en: http://www.barcelona2004.org/esp/banco_del_conocimiento/docs/PO1ES_LAMO.pdf, (27/10/2005).
- LICEA DE ARENAS, J. (1985).** Publicaciones en la ciencia. *Ciencia Bibliotecaria*, (1):21-32.
- LUNA, M. (2003).** Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: un enfoque de redes. Barcelona; México: Anthropos: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales, 398 p.
- MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, L.A. (2008).** El binomio ideal universidad-empresa. *Revista Univa*. Disponible en: <http://revista.univa.mx/Art.%20Martinez%20.html>, (agosto, 2009).
- MERTON, R.K. (1957).** Social theory and social structure. New York: The Free-Press, 645 p.
- MONCADA-MAYA, J.O. Y ESCAMILLA-HERRERA, I. (1993).** La geografía en México en el Siglo XIX. Institucionalización y Profesionalización. *Ciencia*, 44:269-278.

- MONDRAGÓN, A. (2003).** Los inicios de la física de partículas y campos en el IFUNAM. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Física*, 17(3): 147-155.
- OLVERA-SERRANO, M. Y VIDAL DE LA ROSA, G. (1993).** La especialización del conocimiento. *Sociológica*, Año 8(23): 11-35.
- PACHECO-MÉNDEZ, T. (1990).** Algunos elementos conceptuales para el estudio del campo científico en México. *Cuadernos del CESU*, (28):9-28.
- PACHECO-MÉNDEZ, T. (1993a).** La política nacional de planeación, en ciencia, tecnológica y educación superior en un contexto de crisis. *Revista Pensamiento Universitario*, (80): 1-34.
- PACHECO-MÉNDEZ, T. (1993b).** La profesionalización de la universidad su incidencia en la formación de profesionales y de científicos. *Cuadernos del CESU*, (31): 27-39.
- PACHECO-MÉNDEZ, T. Y BARRIGA, A. (1997).** La profesión. Su condición social e institucional. México: Centro de Estudios sobre la Universidad (UNAM), pp. 27-39.
- PAREDES-LÓPEZ, O. Y VALVERDE, M.E. (2006).** Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamérica le ha dado al mundo. *Cinvestav*. 25 (3): 65-73.
- PEÑA, A. (1995).** La investigación científica en México, estado actual: algunos problemas y perspectivas. *Perfiles Educativos*, (67): 1-10. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=13206702&iCveNum=183>, (Diciembre 2005)
- PÉREZ-SEDEÑO, E. (2000).** Institucionalización de la ciencia valores epistémicos y contextuales: un caso ejemplar. *Cuadernos Pagu*, (15): 1-15. Disponible en: <http://www.campus-oei.org/salactsi/sedeno1.htm> (27/10/2005).
- PÉREZ-TAMAYO, R. (2005).** Historia general de la ciencia en México en el siglo XX. México: FCE, 230 p.
- RAMOS-LARA, M.P. (1999).** La enseñanza de la física en México en el siglo XVIII. El proceso de institucionalización. *Revista Mexicana de Física*, 45 (2):193-203.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (1992).** Diccionario de la lengua española. Madrid: Real Academia Española, p. 1186.

- REYNA, J.L. (2004).** La institucionalización y profesionalización de las ciencias sociales en América Latina. *Estudios Sociológicos*, 22(65): 483-493.
- REYNOSO-ANGULO, R. (2001).** El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N: análisis de caso de institucionalización de la ciencia en México. *Tesis de Maestría*. México: CINVESTAV. Investigaciones Educativas, 293 p.
- RÍOS-GÓMEZ, C. Y HERRERO-SOLANA, V. (2005).** La producción científica latinoamericana y la ciencia mundial: una revisión bibliográfica (1989-2003). *Revista Interamericana Bibliotecológica de Medellín*, 28 (1): 43-61.
- SAGASTI, F.R. (1981).** Ciencia, tecnología y desarrollo latinoamericano: ensayos. México: FCE, 140 p.
- SALDAÑA-GONZÁLEZ, J.J. (2002).** Investigación en empresas del sector mexicano. *En Memoria de Investigación 2002*. México: UNAM, 14 p.
- SALDAÑA-GONZÁLEZ, J.J. (1996).** Ciencia y felicidad pública en la ilustración americana. *En Historia Social de las Ciencia en América Latina*. J.J. Saldaña (Coord.). México: UNAM, Coordinación de Humanidades: Miguel Ángel Porrúa, pp. 151-207.
- SALDAÑA-GONZÁLEZ, J.J. Y AZUELA-BERNAL, L.F. (1994).** De amateurs a profesionales. Las sociedades científicas mexicanas en el siglo XIX. *Quipu. Latinoamericana de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, 11(2): 135-172.
- SALDAÑA-GONZÁLEZ, J.J. (1990).** La ciencia y el debatían mexicano. *En Actas de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, I: 37-52.
- SALDAÑA-GONZÁLEZ, J.J. (1987).** The failed search for useful knowledge: enlightened scientific and technological policies in New Spain. *En Symposium Cross Cultural Transmission of Natural Knowledge and its Social Implications: Latin America* (July 31-8 August, Berkeley, Calif.), Juan José Saldaña (Ed.) México: Sociedad Latinoamericana de Historia de la Ciencia y la Tecnología, v. 5, pp. 33-58. Cuadernos de Quipu; 2.
- SANTOS, M.J. Y GORTARI, R. (2003).** De contactos a redes: la construcción de redes de conocimiento a través de la formación de recursos. *En Itinerarios del conocimiento: formas, dinámicas y contenido: un enfoque de redes*. R. Casas

- (coord). Barcelona; México: Anthropos: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales, pp.107-144.
- SCHOIJET, M. (2003).** Ciencia nacional o globalizada. *Revista Casa del Tiempo*, 5(4):14-17. Disponible en: <http://www.difusioncultural.uam.mx/revista/sep2003/schoijet.html>, (febrero, 2007).
- SCHOIJET, M. (1991).** La ciencia mexicana en la crisis. México: Nuestro Tiempo. p. 39
- SILVA-HERZOG, J. (1974).** Una historia de la Universidad de México y sus problemas. México: Siglo XXI, 120 p.
- SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGADORES (2000).** Reglamento SNI. México. Disponible en: <http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones/cienytec/regsni.htm#C2>, (Agosto, 2007).
- TINAJERO-VILLAVICENCIO, G. (2005).** Una década de acreditación de programas de posgrado: 1991-2001. *Revista de la Educación Superior*, 34(1): 107-120.
- TIRADO, R. Y LUNA, M. (2001).** Las asociaciones empresariales y la construcción de redes de conocimiento. *En La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México*. Barcelona; México: Anthropos: UNAM, Instituto de Investigaciones Sociales, pp. 119-162.
- TRABULSE, E. (2003).** Tradición y ruptura en la ciencia mexicana. *En: Science and Cultural Diversity, Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science* (Mexico, City, 2001), Juan José Saldaña (Ed.). México: UNAM: Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología. v. I (Plenary Lectures), pp. 33-42.
- VELOSO, F.M., GONZÁLEZ-BRAMBILA, C. Y REYES-GONZÁLEZ, L. (2006).** La ciencia mexicana en el contexto global. E.U.A; México: Carnegie Mellon University: Instituto Tecnológico Autónomo de México. 159 p.
- WILENSKY, H. (1964).** The professionalization of everyone? *American Journal of Sociology*, 70: 137-158.

CAPITULO 2

Técnicas de análisis de la producción científica: bibliometría, minería de datos y análisis de redes de coautoría

De acuerdo con X. Polanco (1986), para determinar aspectos donde se requiere dar a conocer personajes, errores y obstáculos que interfieren en el crecimiento de la ciencia, los historiadores o sociólogos de la ciencia son los más aptos para dar cuenta de ello. Pero, si se trata de construir la historia de la evolución y maduración de la ciencia en términos de producción científica y los efectos que la misma está generando entre las propias comunidades, entonces se requiere de la aplicación de técnicas como la bibliométrica, y más reciente la minería de datos. La bibliometría surgió como un medio para estudiar los aspectos cualitativos y cuantitativos de la ciencia (producción, impacto, diseminación y uso de la información). Para estos fines, la bibliometría ha desarrollado metodologías muy útiles, aplicadas al análisis de la literatura científica publicada, y sus resultados son de gran ayuda como elementos de evaluación de la actividad científica de cualquier país (Pérez-Matos, 2002; Pérez-Angón, 2006). Por su parte, la minería de datos explora grandes volúmenes de información con el objeto de descubrir patrones y modelos de comportamiento de los datos y sus relaciones entre distintas variables (Ding, Chowdhury and Foo, 2001). Esto permite generar conocimiento que ayuda a identificar procesos fundamentales relacionados con la ciencia.

La visualización de datos es una técnica que tomó fuerza a partir del desarrollo de las tecnologías computacionales (hardware y software), al igual que la minería de datos es principalmente útil en el mundo de los negocios, pero con gran influencia en el estudio de grandes cantidades de información (Mateos-Rodríguez, 2003). El objeto de la visualización de datos es la representación de patrones temáticos y la relación que puede existir entre los mismos; su uso ha tenido buenas aplicaciones en el análisis de las estructuras científicas y tecnológicas, sobre todo cuando se aplica en bases de datos bibliográficas, estructuradas y basadas en campos de información, lo que permite hacer interrelaciones entre los diferentes campos que la constituyen (Noyons, and Van-Raan, 1998). Actualmente, la bibliometría y la minería de datos son los métodos de análisis de mayor uso que conducen al desarrollo de indicadores relacionados con la evaluación de la actividad científica que se está produciendo a nivel nacional, regional, departamental o individual.

2.2. Técnicas bibliométricas

Conocidas como un conjunto de técnicas a considerar en la evaluación de la investigación científica, los estudios bibliométricos tienen por objeto el tratamiento y análisis cuantitativo y cualitativo de las publicaciones científicas (Bordons y Zulueta, 2004; Licea de Arenas y Santillán-Rivero, 2002). La bibliometría tiene sus bases en el estudio de los elementos que constituyen la referencia bibliográfica y en las distintas fuentes de información consideradas como el principal medio para la aplicación de métodos bibliométricos. Estos estudios dan cuenta de importantes comportamientos de la información produciendo indicadores con los que se fortalecen los juicios y opiniones de los organismos responsables de apoyar y promover la actividad científica.

Apenas comenzaba el Siglo XX cuando se generaron las primeras aplicaciones bibliométricas basadas en recuentos y estudios cuantitativos de publicaciones científicas, que se complementaron con la aplicación de métodos propios de las matemáticas y la estadística bibliográfica (Carrizo-Sainero, 2006). Los primeros estudios bibliométricos se le atribuyen a Cole y Eales en 1917, E. Hulme en 1923,

Gross y Gross en 1927. Sin embargo, el desarrollo de la documentación y sus diversas técnicas de análisis contribuyeron a consolidar el uso de la bibliometría, sobre todo, a partir de las contribuciones de Alan Pritchard quien en 1969 hace una de las aportaciones más significativas en el campo, al acuñar el concepto de bibliometría al definirlo por primera vez en su artículo *Statistical Bibliography or Bibliometrics?* como: la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos dispuestos para definir los procesos de la comunicación escrita, la naturaleza y el desarrollo de las disciplinas científicas, mediante el recuento y análisis de las distintas facetas de dicha comunicación (Pritchard, 1969).

A estas contribuciones le siguieron otras igualmente importantes dadas a conocer por Alfred James Lotka, Samuel Clement Bradford y George Kingsley Zipf que desarrollaron tres importantes leyes bibliométricas: ley de Lotka, ley de Bradford y ley de Zipf. La primera también conocida como ley cuadrática inversa de la producción, muestra que existe una distribución desigual de trabajos entre los autores, ya que la mayoría de los trabajos están concentrados en una pequeña porción de autores altamente productivos (Urbizagástegui-Alvarado, 1999; Gorbea-Portal, 2005). La segunda, más conocida como ley de Bradford o, ley de la dispersión de la literatura científica; con frecuencia es usada para determinar las zonas donde se ubican las revistas más productivas, es decir, las que mayor número de trabajos publican en un tema específico (Gorbea-Portal, 1996). La tercera reconocida como ley de distribución de frecuencias fue desarrollada por Kingsley Zipf, profesor de lingüística en la Universidad Harvard (Faba-Pérez, Guerrero-Bote y Moya- Aneón, 2004). Su postulado confirma que en cualquier texto, existe un pequeño número de palabras usadas con gran frecuencia, y otro muy pequeño es utilizado pocas veces en el mismo texto. Cada una de estas leyes o modelos matemáticos se han aplicado infinidad de ocasiones, sobre todo con la idea de probar la veracidad de los postulados en áreas distintas de investigación en las originalmente se aplicaron. En este sentido, algunos autores los reproducen, otros ubican fallas, y otros los perfeccionan. Sin embargo, también hay autores que los utilizan para mejorar los servicios en bibliotecas.

Con el tiempo y el surgimiento de nuevos modos de producción, la bibliometría ha sido de gran ayuda porque se enfoca al tratamiento y análisis de la literatura científica publicada, para analizar los grandes volúmenes de publicaciones, la productividad de los autores y revistas, para determinar aspectos más amplios que tienen que ver con los procesos y naturaleza de la ciencia, y las nuevas formas de representación de la información (Ding, Chowdhury and Foo, 2001). En este esquema, se amplió la diversidad de las aplicaciones bibliométricas lo que provocó la aparición de nuevos conceptos, por ejemplo, la *cienciometría*, dado a conocer por V.V. Nalimov en 1979, definida como el análisis continuo del progreso científico por medio de métodos estadísticos. Por el mismo año en el campo de la ciencia de la información se empezó a utilizar otro concepto, *informetría*, un término concebido y definido por O. Nacke (1983) como, la ciencia de la aplicación de métodos matemáticos a los hechos y situaciones del campo de la información para describir y analizar sus fenómenos, descubrir sus leyes y servir de soporte a sus decisiones.

La *cienciometría* surgió en Europa oriental y alcanzó su máxima popularidad en 1977 con el surgimiento de la revista *Scientometrics*. Esta disciplina está orientada al estudio de los aspectos cuantitativos de la ciencia como disciplina o actividad económica. Un análisis *cienciométrico* ayuda a determinar: (1) el crecimiento de la ciencia, (2) el desarrollo de las disciplinas y subdisciplinas, (3) la relación entre ciencia y tecnología, (4) la obsolescencia de los paradigmas científicos, (5) la estructura de comunicación científica, (6) la relación entre desarrollo científico y crecimiento económico producto de la ciencia y la tecnología (Araujo-Ruíz y Arencibia-Jorge, 2002; Macías-Chapula, 1998). Por lo anterior, la *cienciometría* debe estudiar tanto los recursos aplicados en la investigación, como los resultados y las formas de organización producto de la investigación científica.

De acuerdo con J. Tague Sutcliffe (1992) la *informetría* es el estudio de los aspectos cuantitativos de la información en cualquier forma, no sólo a partir de registros catalográficos o bibliográficos y abarca cualquier grupo social por lo que

no se limita sólo al científico. Puede ampliar los diversos estudios de evaluación de la información que se encuentran fuera de los límites de la bibliometría y la cienciometría. En este sentido, está orientada a cubrir aspectos como: (1) el estudio estadístico del lenguaje, (2) las características de la producción de los autores, (3) las fuentes de información donde se publicó, (4) el análisis de las citas, (5) el uso de información a través de la circulación, (6) la obsolescencia de la literatura medida en base a la frecuencia de citas, y (7) la distribución idiomática, entre otras (Macías-Chapula, 1998). Algunos autores consideran que la informetría es un sinónimo de la bibliometría. Otros creen que la bibliometría forma parte de la informetría. Lo cierto es, que a la fecha esta situación no se ha definido, y el uso de los términos queda a decisión de los propios autores en función de los fines que pretenden.

El término cienciometría está generalmente asociado al nombre de Derek de De Solla Price, más concretamente a dos libros publicados por este autor a principios de los años 60: *Science Since Babylon* y *Little Science, Big Science* (De Solla Price, 1963; Glanzel, 2003). Estos textos hacen referencia a la evolución del desarrollo científico desde sus orígenes y a la forma en que evolucionaron las estructuras científicas después de la Segunda Guerra Mundial. La idea de examinar la ciencia tiene sus principios durante los primeros años del Siglo XX, aunque tuvo un mayor auge a partir de los años 60, con la creación del Institute for Scientific Information (ISI) que desarrolló varios índices de citas: Science Citation Index (SCI) (King, 1987), Social Science Citation Index (SSCI) y Arts & Humanities Citation Index (A&HCI), primeros en su género orientados a propósitos específicos bibliométricos (Moya-Anegón y Gálvez, 2006). Actualmente son herramientas básicas para medir el crecimiento de la ciencia a través de los trabajos publicados en revistas que el mismo ISI considera como de impacto internacional (Garfield, 1999). Sobresale en el desarrollo histórico de los estudios bibliométricos el nombre de Eugene Garfield, sobre todo por las contribuciones que hizo al desarrollo no sólo de los índices de citas y la creación del Institute for Scientific Information (ISI), sino también por la integración de nuevos elementos de

estudio de la ciencia como el factor de impacto, una medida de influencia y visibilidad de las revistas científicas (Suárez-Balseiro y Maura-Sardó, 2005), indicador que a la fecha goza de amplio peso y utilidad en la evaluación de la actividad científica.

En la actualidad existen varias bases de datos bibliográficas básicas para el desarrollo de los estudios bibliométricos. La selección de las fuentes primarias de información, de los datos a incluir y de la estructura de estas bases de datos depende de los criterios de selección de los productores de información. El objeto de estas bases de datos no es la construcción de indicadores bibliométricos, sino la recopilación de la literatura científica como medio de difusión del conocimiento. Entre las más difundidas y utilizadas están las producidas por el ISI porque cubren tres grandes campos del conocimiento: ciencias duras, tecnologías e ingenierías, ciencias sociales y artes y humanidades. Asimismo, presentan características especiales entre otros sesgos en favor de las revistas de lengua inglesa y de los países de primer mundo; en consecuencia poca representación en estas bases de datos de la ciencia de los países en vías de desarrollo. Sin embargo, son bases de datos multidisciplinarias que integran las publicaciones de revistas de corriente principal, publican el factor de impacto de cada una de las revistas que selecciona, y ofrece todas y cada una de las direcciones institucionales de los autores de los trabajos. Estas particularidades son las que posicionan a las bases de datos del ISI por encima de las demás, por ello son de las más utilizadas a nivel internacional, y son preferidas en la aplicación de los estudios de citas. No obstante el prestigio y reconocimiento que estas bases de datos tienen han surgido diferentes recientemente enfocadas a fines similares, entre otras SCOPUS, SciFinder y SPIRES, las que han demostrado contener grandes ventajas, diferencias y aportaciones en la integración de trabajos publicados. En el caso particular de SPIRES no sólo contiene las publicaciones registradas en revistas publicadas de corriente principal, sino también las difundidas como e-print (trabajos previos a la publicación en forma electrónica).

Por otro lado, el crecimiento de la producción científica en las últimas décadas, así como su recopilación en bases de datos bibliográficas automatizadas han potenciado el uso de la bibliometría, así como la generación de indicadores para medir los resultados de la actividad científica, que son de vital importancia para las entidades responsables de promover y apoyar en distintos ámbitos el desarrollo de la ciencia y la tecnología. En este caso, el reconocimiento de la utilidad en el monitoreo y análisis de las publicaciones para el estudio de la actividad científica ha llevado a la bibliometría a experimentar un gran desarrollo. En los últimos años, los estudios bibliométricos son cada vez más requeridos y utilizados, no sólo para la cuantificación de la producción científica, sino también para otros fines como: identificar grupos y áreas de excelencia, asociaciones temáticas, interdisciplinaridad, disciplinas emergentes, redes de colaboración temática, prioridades, entre otros aspectos posibles de evaluar (Wagner-Dobler, 2005).

Actualmente, la diversificación de las técnicas métricas es todavía más amplia; el papel que juega la Web dentro del ambiente Internet ha traído como consecuencia la creación de términos como *webmetría* y *cibermetría*, ambos orientados a los aspectos cuantitativos relacionados con la construcción y uso de recursos de información, estructuras y tecnologías tanto de Internet como de una parte concreta de Internet ya sea el Web o un portal (Arroyo, Ortega, Pareja, Prieto y Aguillo, 2005). Los mismos autores consideran que, por las características específicas y genéricas de la cibermetría, ésta integra a la webmetría.

Por último, es importante hacer referencia a la bibliometría histórica, que es definida, como el estudio bibliométrico de las publicaciones y los libros publicados en un área y en un periodo de tiempo y espacio específico (Hérubel, 1999), sobre todo editados durante los siglos XVIII, XIX y principios del XX tomando la referencia como elemento de análisis. El método bibliométrico que actualmente se aplica en estos estudios, se apoya de elementos muy similares también toma las publicaciones y libros registrados en siglos y años pasados, con la diferencia de que algunos campos pueden ser minados y complementados con variables

adicionales, de tal manera que se pueden obtener datos valiosos que generalmente son desconocidos (Luna-Morales, Collazo-Reyes, Russell, Pérez-Angón, 2009).

Las ventajas de la bibliometría histórica residen en que dan luz sobre las características de la publicación de materiales menos sobresalientes, además se trata de observaciones muy pertinentes en el estudio de la investigación histórica que tiene que ver con el proceso intelectual y cultural de los impresos científicos. En este sentido, la medición y análisis del contenido intelectual de la ciencia, de sus transformaciones a corto y largo plazo forman parte de la cultura científica. Esto resulta muy significativo para el estudio de la cuantificación histórica de la ciencia, en particular por dos razones: (1) por la riqueza que los datos históricos integran sobre ciertas dimensiones sociales de la ciencia, incluyendo prioridades financieras, de producción científica y el uso en diversos sectores de la economía; (2) para identificar a los que realizan el trabajo de investigación sobre todo a partir del género, más enfocado hacia los aspectos cualitativos de la historia de la ciencia (Tackray, 1978). En este sentido, la bibliometría histórica tiene mucho que ver con bibliometría estadística y el progreso de la sociología, hasta que finalmente se produce una convergencia entre la investigación histórica y sociológica dando lugar a una riqueza de técnicas y datos de la historia de la ciencia, concerniente principalmente con métodos cuantitativos y conocimiento sistemático.

2.3. Métodos de análisis de proximidad de la ciencia

La definición de proximidad en las estructuras de la ciencia se originó con el análisis de co-citación, posteriormente se generaron otros métodos como el análisis de co-palabras, de revista-revista y de temas, apoyados principalmente en el conteo de referencias. C. Faba, V. Guerrero y F. de Moya (2004) infieren que I. Marshakova-Shaikevich (1973) fue la primera en utilizar este procedimiento; en seguida H. Small (1973) hizo lo mismo, al igual que E. Garfield (1999) así como otros autores interesados en el estudio de la co-citación.

A Henry Small se le considera creador del concepto de co-citación, al proponer la co-citación de documentos como variable de estudio en los análisis de citas de la producción científica. El concepto lo definió como: la frecuencia con la cual dos artículos previos son citados por documentos más recientes (Marshakova-Shaikevich, 2005). Los análisis de la co-citación se han aplicado con éxito para examinar la estructura de las disciplinas científicas. Y. Ding (1999) y R. Kostoff (1994) demostraron cómo los estudios bibliométricos se pueden utilizar para mostrar el desarrollo de un tema a través de la representación de mapas visuales, usando como método la co-citación de autores. Los métodos bibliométricos tradicionalmente conocidas como análisis de co-citación se basan en el estudio de las citas contenidas en los trabajos científicos (Zhu, Porter, Cunninham, Carlisle, & Nayak, 2005). El análisis de co-citación es un método fundamental para el control de la ciencia, su objetivo está orientado a descubrir la estructura intelectual de las disciplinas de estudio. Aunque esta clase de análisis conduce a resultados de interés, no proporciona un cuadro inmediato del contenido real de los aspectos de la investigación. Con el análisis de co-palabras es posible contar y analizar las co-ocurrencias (palabras clave asignadas en las publicaciones), además tiene el potencial de tratar con exactitud el problema en forma analítica. El análisis de co-palabras es una alternativa para el análisis de co-citación, que estudia la co-ocurrencia de los términos y genera redes conceptuales de los diferentes campos de estudio. Estas palabras co-ocurrentes pueden pertenecer a un lenguaje controlado o libre, en ambos casos existen ventajas e inconvenientes, por ello algunos investigadores prefieren combinar ambos métodos. Este tipo de análisis se complementa con la visualización de datos, que en este caso ayuda a prever las estructuras que presentan los campos de la ciencia (Butler, Noyons and Van-Raan, 2005). La visualización está construida con datos cuantitativos, donde generalmente se toma en cuenta la co-ocurrencia de palabras, frases o referencias y la co-citación. Mientras que el análisis de co-palabras se basa en la naturaleza de las mismas y representan el principal portador de conceptos científicos, ideas y conocimientos (Cano, Herrera y Lozano, 2005). Algunos

investigadores han utilizado el análisis de co-palabras como un método importante para explorar diversos campos, por ejemplo, tecnologías, química de polímeros, seguridad biológica, optometría, bioelectrónica y medicina entre otros.

El mapeo bibliométrico es una actividad que tiene sus orígenes a principios de los años 80 y los autores que están relacionados con el desarrollo de este tipo de representaciones son H. Small, E. Garfield, H.D. White, B.C. Griffith, O. Persson y McCain (Noyons, 2004, 2006) que enfocaron sus trabajos a mostrar la relación principalmente de autores y revistas. A partir del uso de metodologías más sofisticadas han hecho presencia nuevos autores, entre ellos: E. Noyons, F. De Moya-Anegón, V. Herrero Solana; y B. Leydesdorff (Herrero-Solano y Morales del Castillo, 2004; Faba-Pérez, Guerrero-Bote y Moya-Anegón, 2004), quienes se han apoyado para la representación de mapas bibliométricos, en el uso de técnicas de análisis de frecuencia de co-ocurrencias de palabras, sobre todo, de co-términos y co-citación. Esto quiere decir que es posible visualizar la estructura de un fenómeno o dominio estudiando la co-ocurrencia de términos de uno o varios campos del registro bibliográfico.

Entre los distintos tipos de mapas que es posibles aplicar están: los *mapas de la ciencia* también conocidos como *science maps* o *mapas bibliográficos* que se apoyan en el análisis de las publicaciones científicas, y reflejan las relaciones entre disciplinas, sus etiquetas revelan las conexiones semánticas a la vez que sirven para conocer cómo se relacionan entre sí. Advierten sobre los dominios de la ciencia y las especialidades que con mayor frecuencia son analizadas, las publicaciones, instituciones, autores, países y regiones que actualmente están mejor ubicados en el ámbito internacional y regional. A este grupo se integran los *mapas de co-citaciones (co-citations maps)*, basados en el número de veces que dos trabajos son citados juntos; los *mapas de co-ocurrencia de palabras (co-words maps)* que reflejan las relaciones entre áreas de investigación. Por último, están los *mapas de co-clasificación (co-classifications maps)* se construyen a partir de la co-ocurrencia de códigos de clasificación presentes en los documentos de estudio.

Otro método también aplicado al estudio de representaciones visuales de la ciencia y que se abordará más adelante en un apartado independiente, son las redes de colaboración o coautoría, definidas como una forma abstracta de visualizar una serie de sistemas. Se constituyen de *nodos* que se enlazan entre sí a través de *aristas* (flechas) que van de un nodo a otro, o bien de *arcos*, cuando la relación se da en forma recíproca.

Actualmente, el mapeo de la ciencia, o mapas bibliográficos como también se conocen han mejorado considerablemente, sobre todo, a partir de la generación de nuevas herramientas tecnológicas como el desarrollo de software y la generación de interfaces como HTML y Java que abrieron grandes horizontes en la visualización de datos y representación de grafos.

2.4. Técnicas de minería de datos

La minería de datos (MD), del inglés *Data Mining* (DM), se define como un proceso analítico que aplica diversos métodos para explorar grandes volúmenes de información con el objeto de descubrir información valiosa que permita construir nuevos patrones y modelos de conocimiento comúnmente desconocidos (Zaki, and Ho, 2000). Así mismo identifica relaciones, asociaciones, cambios, anomalías y estructuras significativas a partir del análisis de los datos disponibles en gigantescas bases de datos o cualquier otro medio de almacenamiento y acceso a la información (Servente, 2002; Leopold, May and Paass, 2004). La MD tiene que ver con procesos específicos que involucran la integración de técnicas de disciplinas múltiples, como la aplicación de bases de datos, la informática y algoritmos eficientes para la conversión de bases de datos muy grandes estructuradas y semiestructuradas (Jiawei and Micheline, 2006). La representación de sus resultados está soportada en el uso de interfases gráficas mediante las cuales el usuario puede interpretar y visualizar los datos analizados. Dichas interfases son archivos normalmente complejos y sofisticados (modelos matemáticos) ejecutados sólo a través de la computadora ayudando al usuario a

convertir los algoritmos en reglas de acción y de fácil interpretación (Benoit, 2002).

La MD es un campo en desarrollo y de carácter multidisciplinario, la gran variedad de métodos y técnicas que integra es producto del interés que tienen diferentes disciplinas de estudio, por ello, encontramos aplicaciones apoyadas en bases de datos: relacional, transaccional y cúbicas, data warehouses, archivos planos, cadenas de datos e incluso el World Wide Web (Jiawei and Micheline, 2006; Moreno-García, Miguel-Quintales, García-Peñalvo y Polo-Martín, 2001). Todas ellas se apoyan para el análisis de algoritmos diversos entre otros: estadísticos, aprendizaje automático, visualización de datos, redes neuronales y reconocimiento de patrones (Hand, Blunt, Nelly and Adams, 2000). Sus orígenes están ligados al *Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos* (DCBD), conocida por su nombre en inglés *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), una técnica que apareció a principios de la década de los años 80, cuando las más grandes organizaciones empezaron a desarrollar gigantescas infraestructuras de bases de datos que contenían gigabytes de datos almacenados (Marchiori, 2000), sobre todo, aquellas que generan millones de transacciones no sólo por año, mes y semana, sino también, por día, horas, minutos y segundos (Hand, Blunt, Kelly and Adams, 2000a). Estas bases de datos surgieron con el propósito de obtener resúmenes y conocimientos que ayuden en la toma de decisiones, en particular, aquellas que tienen que ver con el mejoramiento de la industria, la empresa y el gobierno (Jiawei and Micheline, 2006). Sin embargo, una parte de estas bases de conocimientos, han comenzado a tener impacto en asuntos relacionados con el estudio de la información bibliográfica científica. En este sentido, conviene aclarar que el descubrimiento de conocimiento en bases de datos es un método que se ajusta a la aplicación de distintas etapas como las abajo mencionadas, y que de manera secuencial deben fluir:

- 1). *Limpieza de datos*. Esta etapa tiene que ver con la limpieza de los datos tanto erróneos, faltantes o irrelevantes.

- 2). *Integración de datos*. Se enfoca a integrar las múltiples fuentes heterogéneas de datos en una única fuente.
- 3). *Selección de datos*. Proceso orientado a extraer los datos relevantes al área de análisis del total de los datos almacenados.
- 4). *Transformación de datos*. Se enfoca a transformar o consolidar los datos en formas apropiadas para la minería de datos a través de procesos de agregación.
- 5). *Minería de datos*. Proceso que aplica diversos métodos para extraer patrones y modelos de comportamiento de los datos analizados.
- 6). *Evaluación de patrones*. Se identifican los patrones de mayor interés basándose en parámetros de comparación.
- 7). *Presentación del conocimiento*. Es la aplicación de técnicas de visualización y representación de los conocimientos obtenidos (Servente, 2002).

Algunos autores consideran que las BDC y la MD son lo mismo y hasta las definen igual (Marchiori, 2000); otros argumentan que la MD es sólo una extracción de las BDC (Benoit, 2002) en este caso las BDC se sitúan por encima de la MD que en complemento con otras herramientas ayudan a la extracción de conocimiento (Gibert, 2006). La figura 2-1 muestra que la MD forma parte de los procesos que siguen las BDC. Es decir, la MD precisa el desarrollo de tareas muy específicas, que forman parte de las varias tareas que se aplican para el análisis de BDC.

Como se puede observar, la MD desarrolla actividades muy puntuales que dependerán de los objetivos del usuario, de la naturaleza y tipo de datos a analizar. En este sentido, la MD se caracteriza por el desarrollo de tareas específicas y la ejecución de métodos tradicionales como los siguientes: (1) aplicar algoritmos eficientes que ayuden a determinar patrones y pruebas de hipótesis; (2) a través de la construcción de herramientas entre otras: soportes de red, clustering, algoritmos genéticos y aprendizaje de máquinas; (3) para determinar reglas de asociación, mismas que; (4) dependerán de los intereses o necesidades de los usuarios.

Actualmente la minería de datos está soportada en la aplicación de tres tecnologías confiables que se apoyan en la madures que las mismas presentan: (1) recolección masiva de datos; (2) potentes computadoras con alto rendimiento en sus multiprocesadores; y (3) aplicación de algoritmos.

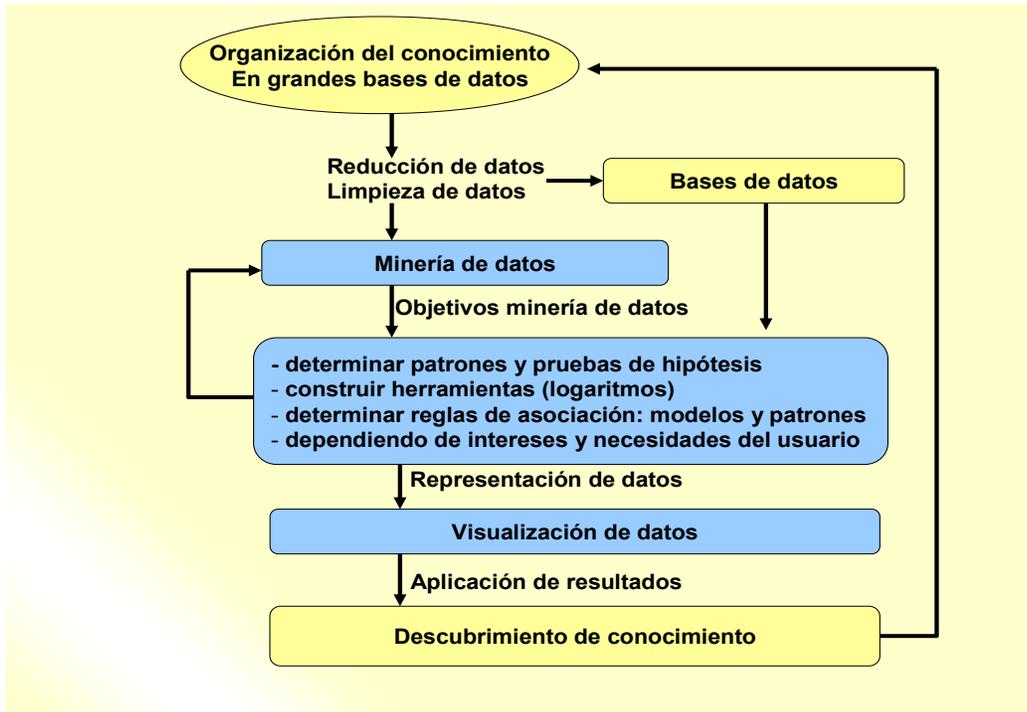


Figura 2-1. La MD en el proceso de descubrimiento de Bases de Datos de Conocimiento.
Fuente. Benoit, G, 2002. Data mining. Annual Review of Information Science and technology. Edited by Blaise Cronin. P. 265.

La MD generalmente se utiliza en función de las teorías a probar, en ocasiones se busca obtener reportes simples a partir del uso de una gran base de datos; en otros casos, lo importante es determinar modelos y patrones de comportamiento a partir de la búsqueda de estructuras ocultas que a simple vista no es posible identificar. Es importante señalar que tradicionalmente hay dos tipos de estructuras a identificar *modelos* y *patrones*; la diferencia entre ambos es a veces difícil de percibir o simplemente no se logran distinguir. Sin embargo, un *modelo* puede definirse como aquel que cubre el total de los datos analizados o un

subconjunto de los mismos, y se apoya para la presentación de datos en los modelos de regresión lineal, modelos de series de tiempo y modelos dinámicos lineales (Hand, 1998; Kennedy, Lee, Van-Roy, Reed and Lippman, 1998b). Un *patrón*, es aquel que considera para su estudio una estructura de tipo local, es decir, su análisis está basado en un pequeño grupo de objetos de estudio, dando lugar a su vez a pequeñas secuencias de valores.

2.4.2. Tareas que integra un sistema de minería de datos

Los estudiosos de la información y conocedores de la técnica de análisis de MD, saben que no hay una metodología sistematizada a seguir para el desarrollo de este tipo de estudios, pero hay procesos que es necesario aplicar antes de poner en práctica el análisis de contenido de una base de datos. Entre las tareas a realizar están las siguientes:

- 1). *Familiarización con los datos*. Esta etapa es muy significativa sobre todo cuando no estamos muy familiarizados con el tema u objeto de análisis.
- 2). *Descripción de clases*. Aquí se hace una clasificación de los datos a fin de distinguirlos unos de otros. La clasificación de datos se conoce como caracterización y distinción entre datos.
- 3). *Asociación*. Se descubren posibles relaciones de asociación o correlación en un conjunto de datos. Las asociaciones se interpretan como condiciones atributo-valor y generalmente se repiten en los datos.
- 4). *Clasificación*. Analiza el conjunto de datos y su clasificación se conoce y construye a partir de un modelo de objetos para cada clase. Los modelos se pueden utilizar en la clasificación de datos futuros.
- 5). *Desarrollo del modelo*. Se lleva a cabo una exploración simple de los datos utilizando técnicas pasivas, y se plantea la selección de un modelo apropiado para el análisis.
- 6). *Predicción*. En esta etapa se predicen los valores posibles de datos faltantes o la distribución de valores de ciertos atributos o del conjunto de objetos analizados.

- 7). *Clustering*. Se identifican las colecciones de datos que son similares. La similitud puede medirse mediante funciones de distancia, especificadas por los usuarios o por expertos.
- 8). *Análisis de patrones secuenciales*. Aquí se identificarán las secuencias de acciones o eventos buscados. Pueden ser patrones, eventos y asociaciones relacionadas entre sí.
- 9). *Análisis de series de tiempo*. Analiza los datos obtenidos con la idea de identificar regularidades u otras características en el tiempo.
- 10). *Prueba y verificación*. Durante esta etapa se prueban los datos para determinar el conocimiento de la base de datos, se aplican las pruebas de modelos y el análisis y segmentación.
- 11) *Interpretación y uso*. En este proceso se hace la integración del conocimiento existente y del dominio, que puede confirmar, negar, o descalificar los patrones descubiertos y generar nuevos (Ding, 1999; Benoit, 2002).

En general todo proyecto de MD cumple con el seguimiento y aplicación de ciertas fases como las que muestra la figura 2-2, que inicia con la integración de una base de datos y concluye con la extracción de un nuevo modelo de conocimiento, el que debe ser evaluado a fin de garantizar validez en el problema planteado. En caso de que no se logren los objetivos de origen es viable alterar alguno de los pasos a seguir a fin de generar nuevos conocimientos que se ajusten de mejor manera a los resultados esperados.

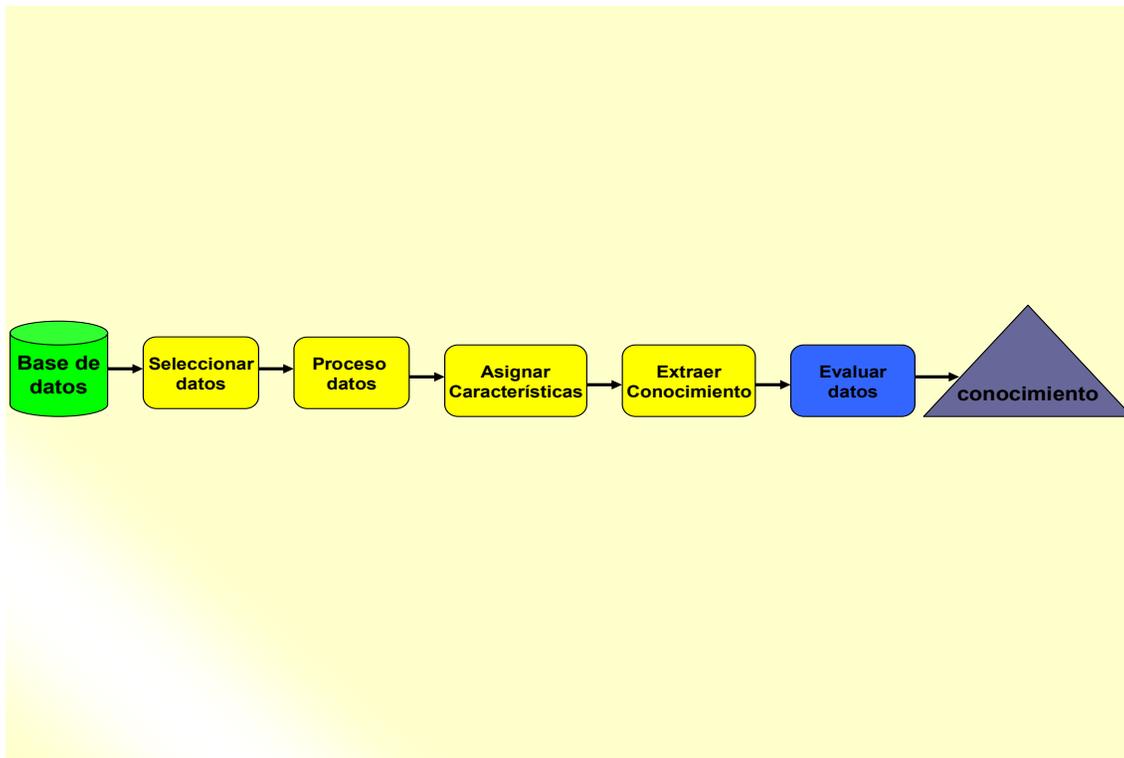


Figura 2-2. Fases de un proyecto de minería de datos.
Fuente. Jiawei and Micheline (2006).

Esta disciplina no tiene ningún modelo semántico incorporado que ayude en el estudio y uso de los datos. En este sentido, el usuario debe tomar precauciones para asegurarse de que los datos están libres de errores y mantengan cierta consistencia. En casos donde los datos generan ruido porque no es posible eliminar inconsistencias, entonces se requiere de la aplicación de estrategias estadísticas y métodos matemáticos más sofisticados que compensen las posibles discrepancias o alteraciones que se pueden generar.

2.4.3. Principales técnicas aplicadas en la MD

Sabemos que las técnicas de minería de datos son generalmente aprovechadas por distintas disciplinas de estudio y que las necesidades de cada una de ellas determinará la técnica más apropiada a seguir; entre las más comunes y tradicionalmente utilizadas están: *árboles de decisión*, *reglas de asociación* y *clasificación*, *redes neuronales*, *patrones de reconocimiento*, *cómputo evolutivo*,

análisis de datos espaciales, procesamiento de señales, teoría de gráficas probabilísticas, programación de lógica inductiva, algoritmos genéticos, aprendizaje automático, técnicas de visualización de datos, método del vecino más cercano, entre otras (Noyons and Van Raan, 1998). Las técnicas en las que se apoya la MD están asociadas en parte, con la estadística inferencial, y con el uso de un Lenguaje de Consulta Estructurado (Structured Query Language, SQL) cuya estructura relacional en base a filas, columnas y datos también puede convertirse en una herramienta muy útil.

Cada vez es más amplio y sofisticado el número de técnicas a utilizar en la MD, por ejemplo, además de las agrupaciones, los clustering o clasificaciones, las reglas de asociación, y los análisis de secuencias, también se cuenta con los modelos gráficos que se apoyan en el análisis de regresión y series de tiempo. El fin primordial de la MD es apoyarse en algoritmos que difieren a los estándares estadísticos, para ello se valen de técnicas ya establecidas que se apoyan en algoritmos previamente desarrollados entre los que existe una gran variedad de ellos; y se complementa con distintas herramientas que incluyen mecanismos para la preparación de los datos, la visualización e interpretación de los resultados.

Los algoritmos aplicados en la MD se clasifican en dos grandes categorías: supervisados o predicativos y no supervisados o de descubrimiento de conocimiento (Moreno-García, Miguel-Quintales, García-Peñalvo, y Polo-Martín, 2001; Leopold, May and Paass, 2004). Los primeros predicen el valor de un atributo o de un conjunto de datos que mantienen una relación entre sí, dicha relación ayuda a predecir datos de etiquetas desconocidas. Esta forma de trabajar se conoce como aprendizaje supervisado. Los segundos tienen que ver con aquellos casos donde los datos no prevén ninguna predicción y generalmente se arriba al descubrimiento de patrones. En este caso se trata de algoritmos no supervisados muy útiles sobre todo en el caso de estudios orientados a cuestiones científicas y de negocios.

Hay diferentes algoritmos caracterizados por sus funciones como supervisados y no supervisados, entre lo supervisados más comúnmente aplicados tenemos: *Naive Bayes*, muy útil para obtener probabilidades estadísticas; *k-Nearest Neighbour* principalmente utilizado para la clasificación de diferentes categorías que pueden ser seleccionadas a partir del contenido de los documentos; *Support Vector Machines*, es un algoritmo recientemente orientado a la clasificación de tareas; *Decisions Tree* consiste en la aplicación de reglas de clasificación que operan en una secuencia puede ayudar a tomar decisiones. Entre los algoritmos no supervisados están: *Clustering* una de las principales técnicas de la MD, es un proceso en el que los productos se agrupan en forma individual o por semejanza, y *Dimensionality Reduction* aprovechado en la MD para reducir el número de variables y las propiedades de los datos a analizar (Leopold, May, and Paass, 2004). Existe una gran variedad de algoritmos de gran importancia en la aplicación de MD, la selección de éstos depende como ya se ha dicho, de los objetivos que pretende la investigación. Sin embargo, cualquiera que sea seleccionado tiene que considerar ciertos mecanismos complementarios como: estimación de errores, matrices de confusión, matrices de pérdida, curvas de esfuerzo y aprendizaje, análisis sensitivo de entradas, entre otros, que permiten realizar una mejor validación de los resultados.

A este grupo de algoritmos existentes se integra el sistema de minería de datos desarrollado por el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, se trata de un algoritmo orientado al desarrollo de indicadores bibliométricos y de minería, a través del análisis de la literatura científica publicada registrada en bases de datos como SCIE. El sistema se apoya de la explotación minera del texto, es decir, utiliza los artículos para identificar las áreas técnicas que afectan la investigación, las relaciones entre estas áreas técnicas, y las relaciones entre las áreas técnicas y la infraestructura (autores, revistas y organizaciones). Un componente clave de la explotación minera del texto, es que proporciona una taxonomía de los temas técnicos de los artículos de la citación y otras penetraciones. En general, se trata

de técnicas basadas en relaciones a partir del surgimiento del proceso que agrupa.

El algoritmo extrae del texto todas las palabras analizadas, simples, dobles o adyacentes, frases triples y cuádruples adyacentes. Las palabras triviales también contenidas en el texto son separadas, es por ello que el algoritmo finalmente presenta los resultados en base a ordenamientos de una, dos, tres y cuatro palabras por separado (Kostoff, Del Río, Humenik, García y Ramírez, 2001).

2.5. Visualización de datos

La visualización de datos es una práctica que tiene una tradición de más de 40 años, fue puesta en práctica por primera vez por E. Garfield, I. Sher y R. Torpie (1964), con la idea de escribir la historia de la ciencia a través del uso de datos de citación. Fue a partir del desarrollo tecnológico que creció el interés por dar a conocer información por medio de aspectos visuales más llamativos. A través de esta técnica el ser humano puede identificar patrones ocultos en la información, en este sentido, la visualización es un nuevo proceso de comunicación que se produce entre una representación reducida de la realidad y quien la observa, a partir de ésta es posible percibir por medio de la vista, hechos y fenómenos de la realidad multidimensional que a simple vista pasarían inadvertidos (Moya-Anegón, Vargas-Quesada, Chinchilla-Rodríguez, Corera-Álvarez, González-Molina, Muñoz-Fernández, y Herrero-Solana, 2006). El objeto de la visualización es transformar el espacio textual en una representación visual que revela patrones y relaciones de manera natural para el usuario (Mateos-Rodríguez, 2003; Albertoni, Bertone, Demsar, De Martino, and Hauska, 2003).

La visualización de datos ofrece medios únicos que permiten a los usuarios manejar información abstracta e invisible aprovechando sus capacidades visuales. Presentando la información visualmente es posible que los seres humanos utilicen más sus capacidades perceptivas para entender la presentación de información, además que se desarrolla la capacidad de la mente humana para percibir

rápidamente la información visual ofreciendo un ambiente interactivo para explorar, descubrir y analizar los datos. La visualización de datos no solo es útil, sino también, la convierte en una herramienta de gran valor, necesaria para el descubrimiento de información (Zhang, and Nguyen, 2005). El proceso de visualización generalmente implica la ejecución de tres pasos básicos: (1) se recogen y se filtran los datos, (2) los datos son mapeados en función de las propiedades de los propios datos, (3) el usuario interactúa con un nivel de representación visual (Teoh, Ma and Wu, 2004).

En resumen, la visualización de datos amplía las capacidades para ver más allá del que logra un sistema de información tradicional. Los ambientes visuales contienen información más rica que los sistemas de información tradicionales debido a las características tridimensionales que integra (Leide, Bahesthti, Brooks and Cole, 2003). El dominio de los lenguajes gráficos en los estudios de la información forma parte de la MD, una ciencia que integra una novedosa forma de presentar los procesos de comunicación.

2.6. Análisis de redes de coautoría

Una red es definida como una forma abstracta de visualizar una serie de sistemas, se construye en base a *nodos* que se enlazan entre sí a través de *aristas* (flechas) que van de un nodo a otro, o bien de *arcos* cuando la relación se da en forma recíproca.

En los últimos 20 años el análisis de redes se está retomando en varias áreas y campos de las ciencias sociales, como una nueva herramienta de análisis de la realidad social. Se centra particularmente en las relaciones entre individuos, grupos de individuos, instituciones y categorías temáticas.

En la década de los años 70 se consolidaron los esfuerzos en el uso de las ideas y herramientas de esa rama de las matemáticas conocida como *teoría de grafos*, que ha contribuido en gran medida a desarrollar una gran cantidad de herramientas y software de análisis, entre otros UCINET, Pajek y Visone, sin contar con aquellos que a nivel de empresas privadas también se han

desarrollado. Desde entonces la *teoría de grafos* se ha convertido en el elemento base para el análisis de redes.

De acuerdo con L. Sanz-Menéndez (2003) el análisis de redes es un método, un conjunto de instrumentos para conectar el mundo de los actores (individuos y organizaciones) con las estructuras sociales emergentes que resultan de las relaciones que los actores establecen. En este sentido, el análisis de redes está más enfocado a comprender las propiedades estructurales que afectan la conducta más allá de las causas normativas, los atributos personales y las relaciones didácticas. Es por ello que se concentran en estudiar cómo las redes generan oportunidades significativas, restricciones que afectan a las instituciones, a los autores, a los recursos particularmente de información, riqueza y poder. Pero también pueden inferir para determinar que estructuras de red están generando mejores posiciones, oportunidades o bien, limitaciones. J.L. Molina (2001) no difiere mucho del punto de vista anterior y propone, que el análisis de redes sociales estudia relaciones específicas entre una serie definida de elementos: personas, organizaciones, países e incluso acontecimientos. El análisis de redes tiene mucho que ver con datos relacionales, acotando que por dato relacional se entiende el vínculo específico existente entre un par de elementos (Wesserman, 1980). En este sentido, a partir de los pares de elementos y las relaciones es posible construir una red, la que puede representar fenómenos muy diversos (Molina, 2001).

Las redes generalmente se aplican para estudiar la conducta de los individuos a nivel micro, y los patrones de las relaciones, es decir, de las estructuras a nivel macro, así como las interacciones entre ambos niveles (micro y macro). En términos generales las redes sociales están orientadas a analizar e identificar las formas en que los individuos y organizaciones se conectan o están vinculados entre sí.

J.A. Barnes (1954) fue el primero que intentó describir las estructuras en términos de redes. A estos estudios le siguieron otros enfocados a cubrir aspectos básicamente de tipo social. Se puede decir, que el primer estudio orientado a analizar cuestiones de ciencia y tecnología es el desarrollado por D. Crane (1972) orientado al estudio de los colegios invisibles, este trabajo abordó la idea de que las redes de comunicación científica son de gran ayuda para explicar el crecimiento del conocimiento científico.

2.6.2. Elementos a considerar en el análisis de redes

Familiarizarse con el análisis de redes sociales no es una tarea sencilla, exige conocimientos de estadística, y al menos disponer de nociones de álgebra de matrices y de operaciones con grafos. A lo anterior, hay que mencionar que se obtienen datos relacionales y esto complica más la tarea. En este sentido, para llevar a cabo un correcto análisis de las redes es necesario entender y conocer muy bien la forma en que éstas operan, así como las técnicas o medidas básicas que generalmente se aplican. Para empezar, el análisis de redes se apoya en la creación y desarrollo de la matriz de relaciones y en la construcción del grafo. Si se trata de un análisis relacional, es fundamental construir la matriz que liga a los distintos actores. Por otro lado, los elementos básicos que definen en una red son dos, los actores que establecen las relaciones entre si, y las relaciones. Los primeros son representados por puntos en la red o nodos y los segundos por líneas. En este sentido los actores se describen como nodos y sus relaciones como líneas entre nodos.

En el análisis de redes se han desarrollado distintas medidas para caracterizar y comparar las estructuras de las redes y las posiciones dentro de las mismas. En este caso para interpretar las características generales de la red, y sus respectivas relaciones, se propone tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1). Análisis de la estructura general de la red y el nivel de integración de la misma, para ello se identifican sus componentes y se determina su densidad y

cohesión del conjunto de la red o de los componentes. En el caso de la estructura de la red es importante tomar en cuenta el grado de integración, lo que dará lugar a la identificación de elementos como: componentes, densidad, unipolaridad, integración y centralización.

2). Estudio de la posición que cada uno de los actores ocupa en la red. Esto se logra a través del análisis de la centralidad de los actores, es fundamental conocer la posición que cada actor ocupa en la estructura general, de acuerdo con el grado de proximidad o cercanía y mediación que se muestra en la red (Sanz-Menéndez, 2003).

En conclusión, la bibliometría es una técnica que ha contribuido a determinar los estados de crecimiento de la producción científica, así como a evaluar los distintos fenómenos ligados al proceso de la comunicación científica. Esta técnica ha logrado importantes avances, sobre todo, a principios de los años 60 con los estudios realizados por Derek De Solla Price, que dieron un mayor impulso a este tipo de estudios. Sin embargo, alcanzaron su etapa de consolidación a partir de la creación del ISI que dio origen a distintas herramientas entre ellas el SCI que actualmente es una de las bases de datos bibliográficas de mayor cobertura internacional e indispensable para el desarrollo de los estudios métricos. A lo anterior, hay que agregar que la técnica bibliométrica se ha convertido en un medio indispensable para los organismos orientados a generar políticas científicas nacionales, regionales e internacionales.

Por su parte la MD se ha convertido en un campo de investigación multidisciplinario, característica que le garantiza un gran futuro en distintos campos de la investigación. Es una disciplina en crecimiento que aprovecha de manera excepcional el desarrollo de las tecnologías de la computación, sobre todo en la integración, uso y aplicación de bases de datos donde se ha dado muestra de una amplia variedad, sobresalen las bases de datos distribuidas, paralelas y cúbicas diseñadas sobre arquitecturas cliente-servidor.

Por otro lado, las técnicas de MD aplicadas en cuestiones de ciencia y tecnología, tienen poco tiempo de haberse incorporado, y sus aplicaciones se dan principalmente en base a la minería de textos, tomando como elemento base el trabajo publicado y la distribución de frecuencias, los sinónimos, la polisemia y la dispersión de los datos. La minería de textos, también ofrece una gran variedad de resultados a partir de la información contenida en los textos. Por ejemplo, se pueden clasificar los documentos a partir de esquemas previamente definidos como puede ser determinar espacios semánticos y con ello determinar la relación entre documentos dentro de una colección; o bien, segmentar los textos en temáticas específicas; discernir las características de la coautoría de los trabajos; e identificar las entidades participantes en la producción de conocimiento científico (personas y organizaciones). Es por ello que se ha convertido en pieza clave, sobre todo, por las ventajas que ofrece en la identificación y revalidación de las estructuras y dinamismo de la ciencia o de un campo específico de la investigación. De acuerdo con G. Heimeriks y P.V. Besselaar (2005) en la cartografía de la ciencia hay una amplia variedad de unidades de análisis, entre otras: ideas, conceptos, temas y paradigmas. Estos conceptos son identificados a través de palabras, términos, documentos y colecciones por autores individuales y en forma colectiva, especialistas y comunidades científicas.

Por último el análisis de redes es una herramienta que contribuye a identificar las estructuras que emergen cuando distintas organizaciones o individuos sostienen una interacción, se comunican, asocian, reúnen y colaboran, con el fin de analizar las formas en que estos individuos y organizaciones se vinculan entre sí; y de esta manera determinar primero la estructura general de la red, segundo los grupos que la integran y la situación que cada uno de los actores desarrolla en la misma, esto ayudará a entender y predecir de mejor manera el entorno en que se desarrollan los actores participantes.

Referencias citadas

- ALBERTONI, R, BERTONE, A., DEMSAR, U., DE MARTINO, M AND HAUSKA, H. (2003).** Knowledge Extraction by Visual Data Minign of Metadata in Site Planning. Available in: <http://www.scangis.org/scangis2003/papers/4.pdf>. (July, 2006).
- ARAUJO-RUIZ, J.A. Y ARENCIBIA-JORGE, R. (2002).** Informetría, bibliometría, y cienciometría: aspectos teórico-prácticos. Available from: http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol10_4_02/aci040402.htm. (07/07/2003).
- ARROYO, N., ORTEGA, JL., PAREJA, V., PRIETO, JA Y AGUILLO, I. (2005).** Cibermetría, estado de la Cuestión. Madrid: CSIC. Disponible en: <http://docunlimited.blogspot.com/>, (Junio 2006).
- BARNES, J.A. (1954).** Class and committees in a Norwegian island parish. *Human Relations*, 7: 39-58.
- BENOIT, G. (2002).** Data mining. *In Annual Review of Information Science and Technology*, B. Cronin (Ed.), 36: 265-310.
- BORDONS, M. Y ZULUETA, M.A. (2004).** Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista Española de Cardiología*, 52:790-800.
- BUTLER, R.K., NOYONS, E.C.M. AND VAN-RAAN, A.F.J. (2005).** A combination of quantitative maps in an evolutive bibliometric context. *In Conference International IEEE Library* (July 14-16; London, England, 2004), pp. 978-982.
- CARRIZO-SAINERO, G. (2006).** Hacia un concepto de bibliometría. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/multidoc/publicaciones/journal/pdf/bibliometria-esp.pdf>, (junio, 2008).
- CANO, J.R., HERRERA, F. Y LOZANO, M. (2005).** Extracción de modelos predictivos e interpretables en conjuntos de datos de tamaño grande mediante la selección de conjuntos de entrenamiento. En Taller Nacional de Minería de Datos y Aprendizaje, (3ro., España), 8 p.
- CRANE, D. (1972).** Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities, Chicago: The Chicago University Press, 212 p.

- DE SOLLA-PRICE, D. (1963).** Little science Big Science. New York: Columbia University Press, 118 p.
- DING, Y. (1999).** Mapping the development in information retrieval speciality: a bibliometric análisis via journals. *In Seventh Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics Proceedings (5-9 July, México, 1999)*, pp. 139-149.
- DING, Y., CHOWDHURY, G.G. AND FOO, S. (2001).** Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing and Management*, 37:817-842.
- FABA-PÉREZ, C. GUERRERO-BOTE, V. Y MOYA-ANEGÓN, F. (2004).** Fundamentos y técnicas cibernéticas. Mérida, España: Consejería de Educación Ciencia y Tecnología, 214 p.
- GARFIELD, E., SHER, I. AND TORPIE, R. (1964).** The use of citation data in writing the history of science. Philadelphia, Pennsylvania: ISI, 71 p.
- GARFIELD, E. (1999).** From bibliographic coupling to Co-Citation Analysis via Algorithmic History-Bibliography. Presented at Drexel University, Philadelphia, PA on November 27, 2001. Disponible en: <http://www.garfield.library.upenn.edu/papers/drexelbelvergriffith92001.pdf>, (febrero, 2008).
- GIBERT, K. (2006).** Técnicas híbridas de inteligencia artificial y estadística para el descubrimiento de conocimiento y la minería de datos. *En Tendencias de la minería de datos en España*. España: Red Española de Minería de Datos. Disponible en: <http://www.etse.urv.es/recerca/banzai/BanzaiDef//Seminars/text.htm>. (Agosto, 2006), 15 p.
- GLANZEL, W. (2003).** Bibliometrics as a Research Field: A course on theory and application of bibliometric indicators. Disponible en: http://www.norslis.net/2004/Bib_Module_KUL.pdf, (agosto, 2009).
- GORBEA-PORTAL, S. (2005).** El modelo matemático de Lotka: su aplicación a la producción científica latinoamericana en ciencia bibliotecológica y de la información. México: UNAM, CUIB, 180 p.

- GORBEA-PORTAL, S. (1996).** El modelo matemático de Bradford: su aplicación a las revistas latinoamericanas de las ciencias bibliotecológica y de la información. UNAM, CUIB, 152 p.
- HAND D.J., BLUNT, G., KELLY, M.G. AND ADAMS, N.M. (2000a).** Data mining for fun and profit. *Statistical Science*, 15(2): 111-131.
- HAND, D.J., BLUNT, G., KELLY, M.G. AND ADAMS, N.M. (1998b).** Data mining: statistics and more? *The American Statistician*, 15 (2): 112-118.
- HEIMERIKS, G. AND BESSELAAR, P.V. (2005).** Mapping Research Topics through Word-reference Co-occurrences. In P Ingwersen and B. Larsen, eds. *Proceedings of ISSI*. USA: ISSI, pp. 575-584.
- HERRERO-SOLANA, V. Y MORALES DEL CASTILLO, J. (2004).** Mapas geopolíticos de internet: aplicación de nuevas técnicas de representación de la información. *Ciencia da Informacao*, 33 (3):1-10. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652004000300009, (Octubre, 2006).
- HÉRUBEL, J.P. (1999).** Historical Bibliometrics; Its Purpose and Significant to History of Disciplines. *Libraries & Culture*, 34 (4): 1-8.
- JIawei, H. AND MICHELINE, K. (2006).** Data Mining: Concepts and Techniques. 2nd. Ed. Amsterdam; Boston; Heidelberg: Elsevier: Morgan Kaufmann Publishers, 770 p.
- KENNEDY, RL... et al. (1998).** Solving Data Mining Problems Through Pattern Recognition. New Jersey: Prentice Hall, 260 p.
- KING, J. (1987).** A review of bibliometric and other science indicators and their role in research evaluation. *Journal of Information Science*. 13: 261-276.
- KOSTOFF, R.N., DEL RIO, J.A., HUMENIK, J.A., GARCÍA, E.O. Y RAMÍREZ, A.M. (2001).** Citation Mining: Integrating Text Mining and Bibliometrics for Research User Profiling. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 52 (13): 1148-1156.
- KOSTOFF R.N. (1994).** Federal research impact assessment: State-of-the-art. *Journal of the American Society Information Science*, 45 (6):409-428.

- LEIDE, J.E... et al. (2003).** Visualization schemes for domain novices exploring a topic space: the navigation classification scheme. *Information Processing and Management*, 39:923-940.
- LEOPOLD, E., MAY, M, AND PAASS, G, (2004).** Data mining and text mining for science & technology research. In Handbook of Quantitative Science and Technology Research. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 187-213.
- LICEA DE ARENAS, J. Y SANTILLÁN-RIVERO, E.G. (2002).** Bibliometría ¿para qué? *Biblioteca Universitaria*, 5(1): 3-10.
- LUNA-MORALES, M.E., COLLAZO-REYES, F., RUSSELL, J.M. AND PEREZ-ANGON, M.A. (2009).** Early patterns of scientific production by Mexican researchers in mainstream journals, 1900-1950. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (7): 1337-1348.
- MACÍAS-CHAPULA, C.A. (1998).** Papel de la informetría y de la cienciometría y su perspectiva nacional e internacional. *En Evaluación de la Producción Científica* (Marzo 4-6, Sao Paulo, Brasil, 1998), pp. 35-41.
- MARCHIORI, E. (2000).** Data Mining. *In Encyclopedia of Life Support Systems*.
- MARSHAKOVA-SHAIKEVICH, I. (2005).** Bibliometrics maps of field science. *Information Processing and Management*, 41: 1534-1547.
- MARSHAKOVA-SHAIKEVICH, I. (1973).** System of documentation connections based on references (SCI). *Nauchno-Tekhnicheskaya Informatsiya Seriya*, 2 (6): 3-8.
- MATEOS-RODRÍGUEZ, F. (2003).** Métodos y aplicaciones para el mapeo de Internet. *Investigación Bibliotecológica*, 17(35): 91-112.
- MOLINA, J.L. (2001).** El análisis de redes sociales una introducción. Barcelona: Ediciones Bellaterra, 123 p.
- MORENO-GARCÍA, M.N., MIGUEL-QUINTALES, L.A., GARCIA-PEÑALVO, F.J. Y POLO-MARTIN, M.J. (2001).** Aplicación de técnicas de minería de datos en la construcción y validación de modelos predictivos y asociativos a partir de especificaciones de requisitos de software. *ADIS*. Available in: <http://www.sc.ehu.es/jiwdocoj/remis/docs/minerw.pdf>, (July, 2006).

- MOYA-ANEGÓN, F. Y GÁLVEZ, C. (2006).** The unification of institutional address applying parameterized finite-state graphs (P-FSG). *Scientometrics*, 69(2): 323-345.
- MOYA-ANEGÓN, F., VARGAS-QUESADA, B., CHINCHILLA-RODRÍGUEZ, Z., CORERA-ÁLVAREZ, E., GONZÁLEZ-MOLINA, A., MUÑOZ-FERNÁNDEZ, F.J. Y HERRERO-SOLANA, V. (2006).** Visualización y análisis de la estructura científica española: ISI Web of Science 1990-2005. *El Profesional de la Información*, 15(4):258-269.
- NACKE, O. (1983).** Informetría un nuevo nombre para una nueva disciplina. Definición, estado de la ciencia y principios de desarrollo. *Revista Española de Documentación Científica*, 6(3): 183-203.
- NALIMOV, V.V. (1979).** V.V. Nalimov's foreword to the Hungarian edition, *Scientometrics*, 52 (2): 2001 (prólogo de su libro reproducido en la editorial de este número conmemorativo).
- NOYONS, E.C.M. (2006).** How to identify research groups using publication analysis: an example in the file nanotechnology. *Scientometrics*, 66(2): 365-376.
- NOYONS, E.C.M. (2004).** Science Maps within a Science Policy Context. In *HF Moed (Ed.). Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 237-255.
- NOYONS, E.C.M. AND VAN-RAAN, A.F.J. (1998).** Monitoring scientific developments from a dynamic perspective: self-organized structuring to map neural network research. *Journal of the American Society for Information Science*, 49 (1): 68-81.
- PÉREZ-MATOS, N.E. (2002).** La bibliografía, bibliometría y ciencias afines. *Acimed*, 10 (3): 1-25. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/archive/00009199>, (Diciembre, 2007).
- PÉREZ-ANGÓN, MA, 2006.** Usos y abusos de la bibliometría. *Cinvestav*, 29 (enero-marzo): 29-33.
- POLANCO, X. (1986).** La ciencia como ficción: historia y contexto. *En Congreso Interamericano de Filosofía: actas del simposio historia y filosofía de la ciencia*

- en América: El perfil de la ciencia en América* (12-14, Guadalajara, Jal., 1985), J.J. Saldaña (Ed.). México: Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, pp. 41-56. Cuadernos del Quipu; 1.
- PRITCHARD, A. (1969).** Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25 (4):348-9.
- SANZ MENÉNDEZ, L. (2003).** Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. *Apuntes de Ciencia y Tecnológica*, (7): 20-29.
- SERVENTE, M. (2002).** Algoritmos TDIDT aplicados a la minería de datos inteligente. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería, 358 p.
- SMALL, H, 1973.** Cocitation in the scientific literature: a new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24:265–269.
- SUÁREZ-BALSEIRO, C.A. Y MAURA-SARDÓ, M. (2005).** Bibliometría evaluativa: seguimiento y evaluación de la actividad científica y tecnológica (SACT). *En Foro sobre Estudios Métricos de la Información (abril 11-15 2005)*. Puerto Rico: OERI: Escuela Graduada de Ciencias y Tecnologías de la Información, 26 p.
- TAGUE-SUTCLIFFE, J. (1992).** An introduction to informetrics. *Information Proceeding Management*, 28 (1): 1-3.
- TEOH, S.T., MA, K.L., WU, S.F. (2004).** A Visual Technique for Internet Anomaly Detection. *En Tendencias de la minería de datos en España*. España: Red Española de Minería de Datos. Disponible en: <http://www.etse.urv.es/recerca/banzai/BanzaiDef//Seminars/text.htm>. (Agosto, 2006), 6 p.
- TACKRAY, A. (1978).** Measurement in the historiography of science. In *The tower a Metric of Science: Advent of Science Indicator*. E. Yehuda (Ed.). New York: John Wiley & Son, pp. 11-25.
- URBIZAGÁSTEGUI-ALVARADO, R. (1999).** La ley de Lotka y la literatura bibliométrica. *Investigación Bibliotecológica*, 13(27): 115-139.
- WAGNER-DOBLER, R. (2005).** The system of research and development indicators: Entry points for information agents. *Scientometrics*, 62(1): 145-153.

- WESSERMAN, S. (1980).** Analyzing Social Network as Stochastic Processes. Journal of the American Statistical Association, 75 (379): 280-294.
- ZAKI, M.J. AND HO, CH.T. (2000).** Large-Scale Parallel Data Mining. Pittsburgh, PA, USA: Springer, 269 p.
- ZHANG, J. AND NGUYEN T. (2005).** WebStar: a visualization model for hyperlink structures. *Information Processing & Management*, 41(4):1003-1018.
- ZHU, D, PORTER, A; CUNNINGHAM, S; CARLISIE, J & NAYAK, A. (2005).** A Process for Mining Science & Technology Documents Databases, Illustrated for the Case of "Knowledge Discovery and Data mining". *Ciencia da Informacao*, 28 (1): 1-8.

CAPITULO 3

Los crecimientos de la ciencia mexicana de 1980–2004

Introducción

A más de 30 años que se institucionalizó y profesionalizó la actividad científica en México, consecuencia de los esfuerzos que de distintas formas se realizaron para sacar adelante la investigación científica en nuestro país, los estudios realizados por organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la National Science Foundation (NSF); así como los desarrollados a nivel nacional por el CONACYT, el Foro Consultivo en Ciencia y Tecnología y el Atlas de la Ciencia Mexicana, además de aquellos que de forma individual se han desarrollado manifiestan que México está presente en la ciencia internacional publicada en revistas de corriente principal registradas en los índices del Science Citation Index Expanded (SCIE). Sin embargo, los indicadores que estos estudios dan a conocer generalmente están limitados a periodos muy cortos de tiempo, cinco o diez años, que no permiten identificar de manera más precisa los periodos de gestación y consolidación de la ciencia mexicana. Es por ello que el presente análisis abarca un periodo de 25 años (1980-2004) y lo que se pretende es contribuir al estudio de la ciencia en México a través de la identificación de los principales periodos de crecimiento al nivel de becas y programas de posgrado, producción, citas, instituciones, disciplinas científicas, sectores productivos, colaboración científica y tendencias de la investigación. La aplicación de estos indicadores se combina con los aspectos históricos que de una u otra manera han contribuido en la consolidación de las estructuras de la ciencia mexicana en todos los niveles central y estatal, medida en base a la identificación del grado de descentralización que ha logrado la ciencia mexicana en producción, citas, posgrados e instituciones dedicadas a la investigación científica.

Para cumplir con los objetivos propuestos se utilizaron tres metodologías: bibliométrica, minería de datos y análisis de redes de coautoría institucional, por países y categorías temáticas. La primera para identificar los principales patrones de crecimiento de la ciencia mexicana; la segunda contribuyó a determinar por medio de los distintos niveles de desagregación aspectos más finos del desarrollo de la ciencia en México; por último, el análisis de redes de coautoría se complementa con el de minería para determinar la coautoría establecida entre instituciones de investigación mexicanas, países y categorías temáticas asignadas a los trabajos publicados, registradas en el Journal Citation Reports (JCR). La metodología explica a groso modo la forma en que se trabajaron los datos que dieron lugar a los resultados mostrados en este mismo capítulo.

3.1. Metodología

3.1.2. Fuentes de información

- *Web of Science*. En 2001, la empresa Thomson Reuters desarrolló el ISI Web of Knowledge. Este portal difunde y da acceso a bases de datos como: Science Citation Index Expanded (SCIE), Social Science Citation Index Expanded (SSCIE) y Arts & Humanities Citation Index Expanded (AHCIE), así como Current Contents, INSPEC, Journal Citation Reports (JCR) y Essential Science Indicators (Thomson Reuters, 2007). Estas bases de datos y distintas herramientas son las más utilizadas en el desarrollo de indicadores bibliométricos, sobre todo, por la cobertura de búsqueda que integra (un siglo), son multidisciplinarias y cubren todas las áreas de investigación, registra la ciencia de mayor visibilidad en el mundo, difundida a través del aparato de comunicación científica ideado por la propia comunidad, basado en la publicación en revistas de corriente principal, además permite la comparación internacional de acuerdo al número de trabajos y citas. Es por ello que este estudio está basado en el uso del SCIE, desarrollado en 1961 por el fundador del ISI, Eugene Garfield, considerado el primero de los índices de referencia que se construye con información proveniente de los datos bibliográficos sobre los trabajos publicados en revistas de corriente principal.
- *Journal Citation Reports (JCR)*. Forma parte de las bases de datos que integra la plataforma Web of Science (WoS). Se presenta en dos ediciones: ciencias y ciencias sociales, y cubre más de 7 600 revistas de aproximadamente 200 disciplinas. Presenta los datos estadísticos de estas revistas y permite determinar de manera sistemática y objetiva la importancia relativa de cada revista en su respectiva categoría temática. El JCR da a conocer las publicaciones que se citan más rápidamente (índice de inmediatez) y cuáles tienen mayor impacto entre la comunidad científica, Factor de impacto (FI).

3.1.3. Herramientas computacionales

- *Programa de minería de datos del CIE-UNAM.* Es un programa escrito en Perl, soportado en un Web Server Apache. No tiene límites en la extensión de los archivos de texto que puede procesar, se ajusta al formato de etiquetas que presenta Web of Science (WoS) y la información extraída la presenta a través de reportes sencillos de interpretar. Los reportes se distribuyen en cinco módulos principales, cada uno de ellos orientado a realizar tareas específicas: (1) archivo de datos, responsable de administrar y dar mantenimiento a los archivos que integran el sistema; (2) análisis bibliométrico, se encarga de los conteos requeridos para el análisis bibliométrico de los datos; (3) minería de datos, se enfoca a extraer las palabras más relevantes de los resúmenes; (4) entropía relativa, mide las similitudes de palabras; tanto el tercero como el cuarto de estos módulos están basados en medidas de entropía; por último (5) índice H, mide la coherencia de la producción científica basada en el número de citas (Cortés, Del Río-Portilla, García, and Robles, 2006).
- *Programa Pajek.* Está desarrollado para llevar a cabo el análisis de grandes relaciones de pertenencia, sobre todo, para el estudio de redes sociales. Es un software gratuito para estructuras de ambientes Windows, y su uso está limitado a fines no comerciales, <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>.
- *MatLab.* Es el nombre abreviado de *Matrix Laboratory*; es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices, está integrado con un lenguaje de programación propio. Puede trabajar con números reales, tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Entre las ventajas que presenta están la amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones.
MatLab es un programa de cálculo técnico y científico. Para algunas operaciones es muy rápido, porque ejecuta funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones es más lento, es por ello que en su

versión 6.5 integró un acelerador JIT (Just in Time) que ayuda a mejorar significativamente la velocidad de ejecución (García de Jalón, Rodríguez y Vidal, 2005). De cualquier manera, el lenguaje de programación de MatLab resulta una excelente herramienta de alto nivel para el desarrollo de aplicaciones técnicas.

- *Microsoft Access*. Es un sistema de gestión de bases de datos creado y modificado por Microsoft (DBMS) para uso personal de pequeñas organizaciones y para pequeños volúmenes de datos. En el caso de grandes bases de datos, es recomendable recurrir a otros sistemas como Oracle, MySQL, Sybase o Microsoft SQL Server. Entre las principales funciones de Access están: crear tablas de datos, modificar tablas, construir relaciones entre tablas, crear consultas de visita, generar cruzadas y de acción, formularios e informes.

3.1.4. Herramientas de consulta

- *Catálogos de programas y recursos humanos en las áreas de la ciencia mexicana*. Generalmente son publicados por las sociedades científicas que conforman las distintas áreas de investigación en el ámbito nacional. En algunos casos también se dan a conocer como herramientas de alcance regional, América Latina y el Caribe. No todas las comunidades científicas del país cuentan con esta publicación, es por ello que existe una limitación únicamente para aquellas que fue posible conseguir.
- *Anuarios de instituciones de educación superior y centros de investigación*. Estos son editados por las propias instituciones de educación superior o centros de investigación del país. Al igual que los catálogos de programas y recursos humanos, no todas las instituciones cuentan con la herramienta.
- *Revistas científicas*. Acervos hemerográficos principalmente del Cinvestav y de la UNAM, tanto en formato impreso como en texto completo.

3.1.5. Indicadores bibliométricos

Un indicador es definido como un parámetro que se utiliza para evaluar cualquier actividad. En el caso de la investigación científica los libros, revistas, tesis doctorales, actas de congresos, informes, reportes, entre otros, forman parte de los resultados de la investigación y es por ello que son considerados las fuentes más importantes para el análisis bibliométrico. En este sentido, y de acuerdo con los objetivos e hipótesis señaladas los indicadores a medir son los siguientes:

- *Producción por país, entidad federativa, institución, disciplina científica y sectores de producción.* Se mide a través del número de las publicaciones publicadas.
- *Producción de las publicaciones.* Se mide a través del número de trabajos publicados por tipo de documento.
- *Análisis de la producción por su temática.* Se trata de analizar los temas y categorías temáticas asignadas a los trabajos publicados, así como las palabras significativas del título de cada trabajo con el fin de identificar la evolución de los temas de investigación que está siguiendo la comunidad científica.
- *Análisis de citas por país, entidad federativa, institución, disciplina científica y sectores de producción.* Se refiere al análisis de las citas que una publicación recibe de otras posteriores o de las referencias que una publicación hace de otras anteriores.
- *Factor de impacto.* Para determinar en algunos casos la evolución del FI de las revistas con mayor frecuencia de publicación y más citadas.
- *Colaboración científica.* Medida en base a las publicaciones firmadas por más de un autor, de la misma o de diferentes instituciones del mismo país o de diferentes países. Puede utilizarse como un indicador de cooperación nacional o internacional.
- *Tendencias de la investigación.* Determinada por la frecuencia de términos desagregados de los resúmenes y títulos de los trabajos publicados por instituciones mexicanas.

- *Modelo matemático de Bradford*. También conocida como ley de la dispersión de la literatura científica. Se apoya en las revistas científicas representadas por sus títulos y ordenadas de acuerdo con el número en descenso de los artículos científicos que ha publicado cada una de ellas. Se basa en la identificación de núcleos que determinan la concentración y dispersión de la literatura científica publicada por revista.
- *Modelo matemático de Lotka*. Entre las leyes bibliométricas también es conocida como ley cuadrática inversa de la producción científica. Esta ley establece que en toda comunidad de autores es posible hallar distribuciones de cantidades de autores y de trabajos.

3.1.6. Procedimientos

3.1.6.1. Recuperación de los datos

A partir de búsquedas realizadas en el Web of Science (WoS) limitada únicamente a la base de datos Science Citation Index Expanded (SCIE) en el periodo de 1980-2004, bajo la siguiente estrategia de búsqueda: *Address=(Mexico not (NM))*, se recuperaron 93 600 registros correspondientes a instituciones mexicanas. Los registros se guardaron en archivos de texto bajo el formato de etiquetas, evitando que estos rebasaran los 500 registros que es el número máximo que el SCIE permite recuperar por archivo. A ello se debe que en total se obtuvieron 146 archivos clasificados por año y numerados de 1 a n .

Tanto los datos registrados y procesados por el sistema de minería del CIE como los de Access pasaron por una depuración. En el caso del CIE, únicamente fue posible eliminar los registros duplicados, pues la idea con este sistema es que los archivos pasen tal cual se recuperan de SCIE al proceso de análisis. Para los integrados en Access se tuvo oportunidad de aplicar una mayor depuración, que consistió en lo siguiente: (1) se realizó una comparación de códigos de barra identificados en el campo (UT) de los registros de SCIE, y en complemento con otros campos como: título, autor, fuente de publicación, volumen, páginas y año de publicación se determinaron los registros duplicados. En este caso se dejó uno y

se eliminaron los demás; (2) se identificaron los trabajos que no correspondían a instituciones mexicanas, pero sólo en los casos donde era muy evidente la situación, la identificación a detalle se realizó con la desagregación de direcciones; (3) se completaron los campos de dirección de los registros donde no estaba incluida. Por lo anterior, de un total de 93 600 registros extraídos de SCIE, únicamente se consideraron para este estudio 79 433.

3.1.6.2. Aplicación del sistema de minería de datos CIE-UNAM

Los 146 archivos extraídos del SCIE se enviaron al Centro de Investigación en Energía de la UNAM donde se ocuparon de unirlos en un archivo único al que finalmente se le corrió el programa de minería de datos escrito en perl por personal de este centro. Al término de la ejecución del programa se obtuvieron de forma inmediata dos distintos tipos de indicadores: bibliométricos y de minería de datos. Entre los bibliométricos destacan: autores, referencias, autores citados, instituciones, tipo de documento, lengua de publicación, países, colaboración entre instituciones y países entre otros. Los de minería de datos corresponden a palabras relevantes en distintos niveles: una, dos, tres y cuatro, que son tomadas de los resúmenes que integran los propios registros; es importante aclarar que no todos los trabajos incluyen resumen, únicamente los publicados a partir de los años 90, periodo en que el SCIE empezó a integrar el resumen en los trabajos publicados.

El método de análisis de palabras que sigue el sistema de minería del CIE, se apoya en la desviación estándar de la distancia entre ocurrencias sucesivas de palabras en el texto, el fenómeno es más comúnmente asociado a la entropía. Este sistema aplica la desagregación para cada uno de los campos que conforman el registro bibliográfico; es por ello que, para el presente estudio se consideraron los siguientes campos mismos que forman parte de los resultados que muestra esta tesis: tipo de publicación, idioma de publicación, revistas preferidas para publicar, autores firmantes y colaboración científica por países.

Para trabajar con los autores firmantes que reporta el sistema del CIE-UNAM, fue necesario hacer una separación entre los autores pertenecientes a instituciones mexicanas de los correspondientes a instituciones de otros países, ya que la desagregación que este sistema aplica es general y no hace diferencia entre autores por nacionalidad.

3.1.6.3. Integración de una base de datos en Access

Para cumplir con los objetivos propuestos para la investigación, que plantean la aplicación de técnicas de análisis de minería de datos y de redes de coautoría, en particular institucional y por países, así como la identificación del grado de descentralización ocurrida en México durante el periodo de análisis; fue necesario trabajar por separado el campo de direcciones de los registros bibliográficos en combinación con otros campos como: título, año de publicación y citas, llevándolos a diferentes niveles de desagregación, lo más específico posible, que permitieran como lo establece la minería de datos identificar las estructuras ocultas de la ciencia mexicana.

La desagregación de direcciones se realizó hasta en un segundo y tercer nivel sobre todo en los casos específicos de la UNAM, CINVESTAV y el IPN por ser de las únicas que mantienen una sede principal, además de institutos, unidades, departamentos, laboratorios y escuelas en diferentes estados de la República Mexicana. Con ello se buscaba determinar la participación de estas dependencias en la producción y citas a través de las distintas entidades federativas, así como la colaboración que mantienen con el resto de las instituciones del país.

De acuerdo con el método de minería de datos, hay que seguir una serie de pasos que en forma secuencial deben fluir:

- (1) seleccionar los datos por trabajar, en este caso direcciones de los trabajos
- (2) procesar los datos por trabajar (separar, organizar y normalizar)
- (3) asignar características a los datos, clasificarlos

- (4) extraer conocimiento de los datos procesados
- (5) evaluar los datos obtenidos del análisis
- (6) ofrecer nuevo conocimiento

Tomando en cuenta los pasos previamente señalados, se seleccionaron como datos de análisis los correspondientes al campo de dirección de los registros pertenecientes a instituciones mexicanas incluidos en el SCIE. Por lo anterior, el proceso de desagregación de direcciones, una a una, consistió en lo siguiente, dando como resultado el desarrollo de una base de datos en Access.

- 1). En una hoja de cálculo de Excel se abrió cada uno de los archivos que contenían los registros extraídos de SCIE, y se fueron numerando de 1 a n, con el fin de que este número se convirtiera en una clave única de identificación y control para todo los campos que integran el registro.
- 2). Una vez asignada la clave única de registro, éstos se fueron transfiriendo a una base de datos en Access, donde se generó una tabla única que integra los 93 600 registros contenidos en los archivos extraídos del SCIE con sus respectivos campos (tipo de documento, autor, título, fuente, lengua de publicación, resumen, referencias citadas, direcciones, categorías, total de citas, entre otros).
- 3). A través de una consulta realizada en Access se extrajeron los campos de clave-única, título, año de publicación, citas, dirección y correspondencia, ordenados en forma ascendente por la clave del documento. El resultado de la consulta se dividió en tres archivos con poco más de 30 000 registros cada uno, los que se copiaron en Excel, dejando una hoja para cada archivo, pues al aplicar la separación y el recorrimiento uno a uno se requiere de las 66 000 líneas permitidas por Excel por archivo.

3.1.6.4. Tratamiento de los datos: instituciones

En SCIE las direcciones se separan con un (;), para aprovechar esta ventaja, en Excel se realizó la separación de cada una de las direcciones contenidas en los 93 600 registros, utilizando la opción, *separación de texto en columnas*, a partir de la

institución principal; en la dirección-2, el instituto o unidad; en la dirección-3 el departamento o sección; y en la dirección-4 el laboratorio. Los países y entidades federativas de México se fueron asignando mientras se realizaba la primera normalización y se acomodaban las direcciones en sus distintos niveles.

Este proceso de desagregación por país, institución, dependencias institucionales, entidades federativas, años, trabajos y citas generó en total 230 000 filas según el marcado de Excel, las que nuevamente se transfirieron a la base de datos en Access, previo a la transferencia, se realizó una primera normalización de direcciones, sobre todo, de las más conocidas como: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Universidad de Guanajuato (UGto), Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y la Secretaría de Salud (SSA).

La idea de llevar otra vez las direcciones a Access fue con el fin de organizarlas y así facilitar la forma de obtenerlas a través de una consulta ordenada en forma ascendente por la primera de las cuatro direcciones. De esta manera se podría continuar con la normalización y depuración de registros no correspondientes a instituciones mexicanas. El proceso se repitió en tres ocasiones: la primera, como se mencionó, consistió en una depuración muy general. La segunda, más exhaustiva, implicó el uso de herramientas básicas como revistas científicas sobre todo en texto completo, páginas Web de las distintas instituciones y centros de investigación del país y del extranjero. De igual manera, se recurrió a las páginas Web de organismos ligados a la ciencia y tecnología del país, en particular de la Academia Mexicana de Ciencias y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), listas de doctores integrados al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), así como los catálogos de programas de recursos humanos y los anuarios de las instituciones que cuentan con estas herramientas. En casos particulares se consultaron directamente los trabajos publicados en revistas impresas, es por eso que se recurrió a los fondos documentales de las revistas más cercanas y completas como fue el caso de Cinvestav.

La última depuración fue aún más exhaustiva pues un alto número de los trabajos publicados únicamente incluyen el instituto, centro, laboratorio, unidad o departamento de investigación. Esto complicó mucho el análisis pues prácticamente todas las universidades y centros de investigación del país tienen institutos, departamentos y laboratorios orientados al desarrollo de investigación en áreas similares. Para identificar la ubicación precisa de los trabajos que tenían esta situación fue necesario realizar búsquedas más exhaustivas del documento publicado, para determinar la procedencia institucional de los autores. En ocasiones, y en forma más esporádica se recurrió a la búsqueda en bases de datos como Inspec, BioMed Central y Current Contents, además de los accesos a texto de completo de sitios de diversos editores de revistas científicas. Esta depuración exhaustiva permitió tomar decisiones más precisas sobre la pertenencia institucional de los registros y así determinar la correspondencia o no de los registros a instituciones mexicanas; además, fue muy útil para completar las direcciones de los registros que en SCIE no incluyen el campo de dirección, ni de autor-correspondencia, que en algunos casos es uno de los elementos que sustituyen al de dirección.

Antes de iniciar la separación de direcciones se tenía claro que había registros que carecían de este campo, por eso también se recuperó el campo de autor-correspondencia, para obtener de aquí algunas de las direcciones faltantes. Desafortunadamente muchos registros seguían careciendo de dirección, estos casos se buscaron directamente por título o autor (es) o, la combinación de éstos o más campos, a fin de ubicarlos directamente en las revistas impresas o en texto completo vía internet prefiriendo la última.

Finalmente, los conteos de trabajos y citas por institución, entidad federativa y sector productivo se tomaron como uno para cada caso, es decir se le contó en forma independiente a todas por igual.

Por último, se aprovechó el recorrido de direcciones para normalizar los países de los trabajos en colaboración, y en el caso de México, colocar la entidad federativa correspondiente. Gracias a esto fue posible desarrollar las matrices de

colaboración entre países, a través del uso del software Pajek, que además de que es un software gratuito, sencillo de utilizar y no tiene limitaciones con respecto a la carga de datos y las relaciones a presentar, se acopla muy bien con Access de donde se obtuvieron las listas definitivas de países e instituciones para construir las matrices y determinar la colaboración en coautoría institucional, por países y categorías temáticas.

3.1.6.5. Tratamiento de los datos: categorías temáticas

Las categorías temáticas asignadas por el Journal Citation Reports (JCR) a los trabajos con adscripción a instituciones mexicanas, se analizaron bajo dos criterios distintos: (1) para desarrollar redes de interdisciplinariedad, y (2) para determinar la participación en el crecimiento de la ciencia mexicana por disciplinas científicas por series anuales. En el primer se tomaron únicamente las primeras categorías que aparecen en cada trabajo publicado, y con ellas se conformó una matriz de relación, que a través de pajek fue posible visualizar. Para el segundo caso se siguió el mismo proceso de desagregación aplicado para las instituciones. Es decir se separaron todas las categorías temáticas incluidas en cada registro una a una, sin perder la relación con los datos del registro general. Esta separación sirvió para construir las 10 disciplinas científicas que actualmente trabaja el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y el Atlas de la Ciencia Mexicana (2009): agropecuarias, ciencias biológicas, físicas, químicas, matemáticas, medicina y ciencias de la salud, de la tierra, ingenierías, humanidades y ciencias sociales y ciencias del comportamiento.

A través de Excel se desagregaron y agruparon las categorías previamente separadas sin perder la relación con la clave-única correspondiente al registro de origen en la base de datos general en Access; que en este caso es muy importante para lograr establecer la relación con las demás tablas en Access. La idea de construir con las categorías una tabla en Access, fue para reunir las todas y posteriormente volverlas a extraer aplicándoles un conteo y organizadas alfabéticamente en forma ascendente. Lo anterior, para facilitar la clasificación una por una, de acuerdo a un primer listado general que se le pasó al Dr. Miguel Ángel

Pérez Angón, quien colaboró en la clasificación de esas categorías temáticas asignándoles una disciplina científica, siguiendo el esquema de clasificación del CONACYT. La forma en que se realizó la clasificación de categorías en disciplinas se aprecia de mejor manera en el anexo 1-1, donde se puede observar que fueron en total 232 diferentes categorías las clasificadas. Una vez finalizada la clasificación, se retomó el listado general y se le colocó a las 116 526 categorías dispuesta en Excel la disciplina correspondiente. El listado se trasladó en forma definitiva nuevamente a una tabla en Access, y de ésta manera se lograron ejecutar las consultas necesarias de acuerdo con los datos que se requieran recuperar.

3.1.6.6. Tratamiento de los datos: frecuencia de palabras

Para el análisis de palabras se utilizó el sistema de minería de datos del CIE, que toma para este análisis los resúmenes de los trabajos y da lugar a cuatro diferentes niveles de palabras: (1) una palabra; (2) dos palabras; (3) tres palabras; y (4) cuatro palabras; de las cuales sólo se utilizó la de una y dos palabras. Sin embargo, como se ha comentado, no todos los registros incluyen resumen, para hacer más equitativo el análisis se retomó los títulos de todos los trabajos publicados y se desagregaron con el fin de realizar un estudio más completo. En total se separaron 1 234 912 palabras, las unidas por un guión se conservaron y se tomaron como palabras compuestas, contabilizadas como una sola. Finalmente, para el análisis de las palabras o términos utilizados por los investigadores adscritos a instituciones del país, se tomaron en cuenta solamente las que registraron más 300 frecuencias de aparición tanto a través del desglose de palabras en el título como las resultantes de los resúmenes, en este caso reportado en el sistema de minería del CIE-UNAM.

3.1.6.7. Tratamiento de los datos: sectores productivos

La clasificación por sectores productivos del país se obtuvo a partir de la lista de instituciones normalizadas, retomando la clasificación que utiliza el Atlas de la Ciencia Mexicana (ACM); sin embargo, a diferencia del ACM, se integraron otros

sectores, entre ellos: el energético que por el número de instituciones dedicadas a generar investigación en este campo se consideró necesario darle un espacio independiente; al igual que INIFAP, Colegio de Posgraduados (ColPos), CIMMYT y ColMex, que reportan una alta participación de trabajos publicados. En el caso del ColMex es necesario aclarar que se trata de una dependencia clasificada dentro de las bases de datos de ciencias sociales dado el trabajo de investigación que realiza en el campo de la historia. No obstante, por el número de registros acumulados, esto indica que hay trabajos cuyos temas cubren alguna temática que les permite formar parte de las ciencias duras e ingenierías.

Finalmente, la clasificación por sectores productivos quedó constituida en 16 sectores: UNAM, salud, universidades estatales, CINVESTAV, IPN, privado, centros CONACYT, energético, UAM, Agropecuario, IPN, INIFAP, CIMMYT, tecnológico, ColPos, ColMex y Otros. Como se mencionó, tanto CIMMYT como ColPos, INIFAP y ColMex se dejaron por separado por la alta cantidad de trabajos que publicaron, al igual que el IPN, UNAM, UAM y Cinvestav.

3.1.6.8. Presentación de los datos

El análisis de redes de coautoría tanto por instituciones, países y categorías temáticas, se construyó con base a tres matrices con sus respectivos vectores y particiones, previa separación para cada caso una a una las instituciones, países y categorías integrados en los trabajos publicados; de tal manera que esto generó la duplicación de los datos lo que permitió contabilizar para cada país, institución y categoría trabajos y citas independientes. En este caso se agregaron a la base de datos en Access tres tablas que contienen listas únicas: (1) de países y entidades federativas, (2) instituciones nacionales e internacionales, y (3) categorías temáticas. Cada una de estas listas corresponde a catálogos únicos tanto de países, instituciones y categorías, por lo tanto mantienen relación con el resto de las tablas. Esto ayudó para obtener los cruces entre campos de diferentes tablas a través de consultas específicas. Las matrices resultantes se ejecutaron utilizando Pajek. Las redes de colaboración están desarrolladas a niveles muy simples, sólo

muestran la densidad de relación, la centralidad por grado, cercanía e intermediación, así como el tamaño en términos de producción científica.

Para la recuperación de datos y su posterior análisis y representación de resultados se utilizaron Word, Excel, Open Office, Pajek y MatLab. Estas últimas poderosas herramientas basadas en el desarrollado de matrices y algoritmos, al igual que Excel contribuyeron en gran medida en la presentación de resultados. Además fue una herramienta fundamental en la organización y tratamiento de los datos, particularmente en la producción por autores y revistas de publicación con los cuales se consideró conveniente la aplicación del modelo matemático de Bradford y Lotka.

Los datos para el análisis del modelo matemático de Lotka se extrajeron del sistema de minería del CIE, que ofrece entre otros indicadores bibliométricos los correspondientes a autores y trabajos publicados. En este caso se tomaron como unidades de análisis cada uno de los autores con los cuales, se construyó una tabla, constituida por las columnas abajo señaladas, lo que ayudó a construir el gráfico que muestra el ajuste de datos de autores observados y calculados, tal como se muestra en el anexo 3-1. Además del índice de coautoría de autores firmantes y la tasa de coautoría. Tal como se muestra en el mismo anexo:

A: Contribuciones de autores

B: Autores observados

C: Acumulado de autores observados

D: Promedio de autores observados entre el total de los mismos

E: Aplicación del postulado Kolmogorov Smirnov

F: Acumulado teórico de E

G: Valor del teórico acumulado entre el total de los mismos

H: Diferencia entre valor teórico acumulado y el Kolmogorov Smirnov

I: Aplicación de una formula par convertir los datos negativos en positivos

Para el análisis y representación del modelo matemático de Bradford, las revistas analizadas se obtuvieron de la base de datos desarrollada en Access a fin de que los datos coincidieran con el total de trabajos analizados. A través de una tabla desarrollada en Excel, se organizaron los datos en forma decreciente de artículos y revistas científicas. La tabla como se expone en el anexo 3-2, está constituida de nueve columnas clasificadas con las letras de la *A - H*:

A: Número de títulos de revistas

B: Número de artículos por título de revistas

C: Es la multiplicación de los valores de $A*B$

D: Son los acumulados de revistas

E: Corresponde al acumulado de artículos

F: Es el logaritmo de los títulos de revistas acumuladas

G: Reporta la cantidad de artículos calculados

H: señala la diferencia entre artículos acumulados o residuales y la cantidad de artículos calculados

I: Se refiere a la diferencia entre datos residuales y calculados, multiplicado por su porcentaje (Gorbea-Portal, 1996)

La definición de la estructura de la tabla permitió identificar las tres principales zonas de revistas con mayor producción. Para determinar el número de trabajos que a cada zona corresponde se realizó una operación muy sencilla que consiste en dividir el total de trabajos acumulados entre el número de zonas que se desean analizar, en este caso tres. De esta manera cada zona debe constituirse por 26 477 trabajos publicados, o en su defecto un aproximado. Es conveniente aclarar que el estudio se aplicó sobre el total de revistas que la comunidad científica mexicana ha utilizado para dar a conocer los resultados de investigación, sin tomar en cuenta la temática que las fuentes cubren, como tradicionalmente ocurre cuando se aplica el modelo matemático de Bradford.

Es conveniente aclarar que la ventana de búsqueda de trabajos publicados se limitó al periodo de 1980-2004, llevada a cabo en septiembre del 2006. Sin embargo, para compensar un poco la caída de citas de los últimos años (2000-2004), se buscaron y recuperaron en octubre del 2008 las citas de los trabajos publicados en dicho periodo, sobre todo porque éstos estaban recién publicados cuando se realizó la primera recuperación de trabajos.

El estudio se complementa con la identificación de los eventos más sobresalientes que en ciencia y tecnología se suscitaron durante el periodo de 1980-2004, y que de alguna manera tienen que ver con el desarrollo de la ciencia y tecnología a nivel nacional. La selección de los eventos se determinó sobre la base de dos criterios fundamentales: (1) los objetivos que para la investigación se plantearon, y (2) los indicadores que se pretendía determinar a partir de la identificación de los eventos, tal como se muestran en la figura 3-2.

3.2. Eventos ocurridos en ciencia y tecnología de 1980-2004

La figura 3-2 está estructurada en cuatro columnas, la primera presenta los principales eventos generados en México en el periodo de 1980-2004, que influyeron en el desarrollo de la ciencia del país; la segunda describe muy brevemente a cada uno de los sucesos ocurridos; la tercera señala los indicadores aplicados para determinar los principales crecimientos de producción y citas de la ciencia mexicana durante la etapa de estudio; finalmente, la cuarta muestra los impactos que se han producido a partir de creación de estos eventos.

Entre los eventos identificados como de mayor envergadura aparecen ocho, el primero y quizás más importante es el otorgamiento de becas nacionales e internacionales por parte del CONACYT, que desde principios de los años 80 se propuso incrementarlas al doble de las que está otorgando en este periodo.

La creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) ocurrida en 1984, también ha sido de gran apoyo en el fortalecimiento de la ciencia mexicana, al convertirse en fuente de estímulo para los investigadores del país, ayudándolos a mejorar sus sueldos, evitando la migración hacia otros países en busca de oportunidades, y de reorientar sus actividades hacia actividades mejor remuneradas.

La regionalización del CONACYT, la creación de los centros CONACYT y el desarrollo de redes de conocimiento son iniciativas que surgieron durante los años 80; aun cuando algunos de estos centros aparecieron desde los años 70, en los siguientes años se reorientaron como centros CONACYT, con la idea de contribuir a la descentralización de la ciencia en México, además de colaborar con la industria establecida en la región dónde los centros están ubicados; complementa lo anterior la fundación de los fondos mixtos, integrados con recursos que por un lado aportan cada entidad federativa y por otro el CONACYT.

De acuerdo con Prud-Homme (1997), la descentralización espacial es el proceso de diseminar actividades y población urbana hacia regiones geográficamente alejadas de las grandes aglomeraciones modernas. En México, este interés por descentralizar la ciencia no es algo nuevo, desde el año de 1946 se generaron los primeros esfuerzos y se retomó con mayor fuerza a partir de su inclusión en el Plan Nacional de Desarrollo 1995 -2000, donde quedaron establecidos los objetivos de estas iniciativas. En el proceso de descentralización está implícita la institucionalización y profesionalización de la ciencia que se complementa con la implementación de programas de posgrado de maestría y doctorados, a través de las instituciones que se integran en las distintas entidades del país.

Con el fortalecimiento de los programas de posgrado, ocurrido durante los años 1991-2001, se buscó mejorar los programas nacionales de posgrado haciéndolos más competitivos en distintos niveles nacional e internacional; y de esta manera ofrecer a los estudiantes de posgrado la oportunidad de encontrar en el ámbito local programas de excelencia.

El catálogo de revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica integrado por 102 revistas, busca satisfacer la necesidad de publicaciones nacionales de calidad en las que se difunda el conocimiento generado en instituciones mexicanas. Entre los aspectos tomados en cuenta para la selección de trabajos están: consejo editorial internacional, resultados originales, resúmenes bilingües y puntualidad de edición y publicación (López, 2006; Bonilla y Pérez-Angón, 1999; CONACYT, 2009)

El Programa de Mejoramiento del Profesorado de las Instituciones de Educación Superior PROMEP, fue creado en 1996 con la idea de dar lugar al Sistema Nacional de Fomento del Personal Académico. Con estas propuestas se hace énfasis en la importancia que representa el profesorado para las Instituciones de Educación Superior (IES) del país. Surge de una propuesta planteada por un grupo de trabajo compuesta por representantes de las propias instituciones de

educación superior, agrupadas en la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), el CONACYT, las Subsecretarías de Educación Superior e Investigación Científica (SECIC), y la de Educación e Investigación Tecnológicas (SEIT). El PROMEP plantea como objetivo principal impulsar la mejor formación de los estudiantes de educación superior, universitaria y tecnológica. Para ello, un requisito esencial es contar con una sólida formación académica del profesorado y su muy necesaria articulación como colectivos académicos, comprometidos con la labor educativa y con sus instituciones a través de las diferentes dependencias; articulados también con las demás instancias e instituciones nacionales y extranjeras de generación y aplicación de conocimiento. De esta manera al elevar la calidad del profesorado y mejorar su dedicación a las tareas académicas fundamentales, centradas en la figura del profesorado de tiempo completo como docente e investigador. Con este programa también se busca lograr que las IES alcancen mayores niveles de calidad internacional (Santos-Valle, 1997).

De acuerdo con las tablas y figuras que se presentan en la tesis, y según la generación de los distintos eventos suscitados, fue posible determinar como se muestra en la figura 3-2 que estos acontecimientos provocaron crecimientos muy importantes en la ciencia mexicana durante el periodo de 1980-2004. Sobre todo porque a partir de los incrementos en la planta académica, áreas de investigación, revistas científicas, grupos de investigación, producción científica y citas acumuladas. De igual manera se consolidó la ciencia en México a través del reconocimiento institucional y profesional de la ciencia mexicana en gran parte de las entidades federativas del país. Así mismo se trabaja en la creación y acondicionamiento de las circunstancias que ayuden a provocar la creación de redes de conocimiento basadas en la relación academia-industria-gobierno.

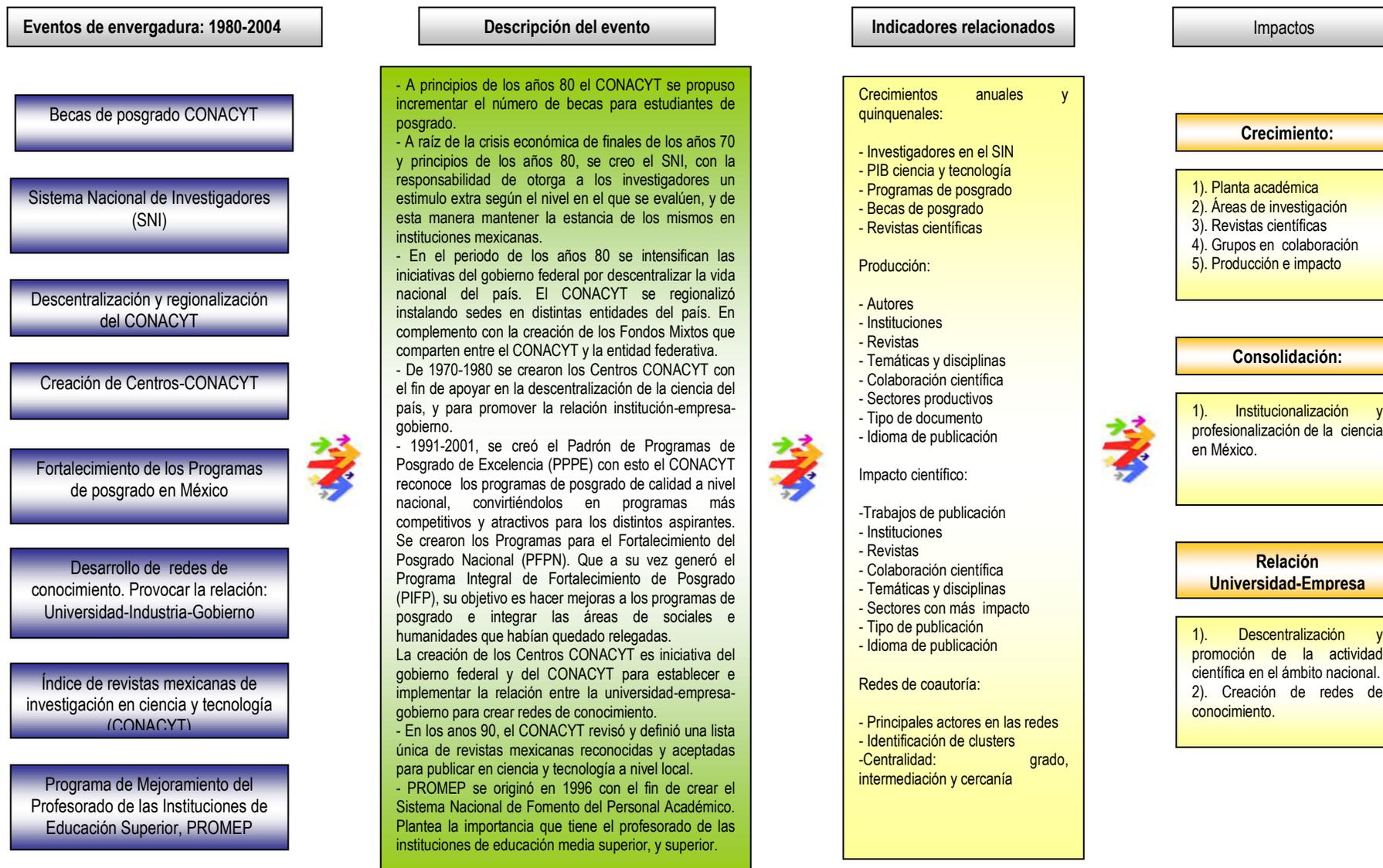


Figura 3-2. Principales eventos históricos que contribuyeron al crecimiento de la ciencia mexicana.

Resultados y discusión

3.3.1. Institucionalización y profesionalización de la ciencia en México

La Figura 3-3 muestra por series anuales de 1980-2004 los periodos de evolución de las becas nacionales e internacionales otorgadas a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), los programas nacionales de posgrado en todas las áreas del conocimiento impartidos por las diferentes instituciones de investigación en el país, y las instituciones mexicanas que registran al menos un trabajo de investigación en el SCIE.

Los datos que sobre becas da a conocer el CONACYT son muy variados. En ocasiones se hace referencia a 130 000 becas de apoyo otorgadas de 1971 a 2006, y en otras se refiere a 150 000. Como se observa, durante la década de los años 80 el número de becas prácticamente se mantiene estabilizado con menos de 3 000 por año. A partir de 1991 las becas se duplican en comparación con las otorgadas en la década anterior; este incremento se mantiene hasta 1996 cuando nuevamente se vuelven a incrementar casi al doble en comparación con la década de los años 80, es decir, de 3 000 subieron a 7 000. De 1997-1998 se reduce, pero del 2000 en adelante otra vez crecen a pesar de la estabilización que se muestra en 2002.

De acuerdo con el número de posgrados mostrados se infiere que en los años 80 se mantienen en 160. Pero a partir de la década de los años 90 se incrementan casi al doble, 1991 y 1995 al igual que 2001 y 2004 son los años de mayor crecimiento; en estos, los programas se elevan a 400, 600, 650 y 700 respectivamente. De 1996 a 2000 prácticamente se registra otro periodo de estabilización, que se rompe al final de los últimos años de estudio.

Por su parte las instituciones nacionales registran el siguiente proceso de evolución en el tiempo. Durante la década de los años 80 el número de instituciones registradas en revistas de corriente principal no rebasa las 150, es un periodo de incrementos combinado con ciertos decrementos. A partir de 1988 y 1989 se empiezan a hacer más notorios los crecimientos, pero también se presentan algunos años de estabilización. En 1996 las instituciones casi se duplican: de 200 registradas en 1995 se incrementaron a 380 en 1999. Aunque

entre 2000-2002 hay otro periodo de estabilización; finalmente concluye los años de análisis con crecimientos en el número de instituciones entre ellas las que al menos registran un trabajo de investigación en revistas SCIE durante el periodo de estudio. Los años con el mínimo y máximo de instituciones son 1982 con 100, y 2004 con 577. Durante el periodo de análisis las instituciones se cuadruplican, esto quiere decir, que la ciencia mexicana está logrando su institucionalización y profesionalización a través de sus distintas áreas de investigación.

Una característica común entre las cuatro variables analizadas es la prolongación que muestran sus datos durante los años 80, en realidad son desarrollos muy similares, aunque la mayor similitud se presenta entre las gráficas de posgrados, instituciones y trabajos publicados, donde se registran crecimientos continuos a partir de la década de los años 90. Sin embargo, el crecimiento de los posgrados y trabajos es todavía más extraordinario, pues en 1991 y 1999 respectivamente se habían duplicado. En los años siguientes los trabajos continúan creciendo con posibilidades de lograr duplicarse nuevamente. Aunque todo depende de las condiciones económicas que registre el país en los siguientes años, por ejemplo, de los recursos que se asignen para el desarrollo de la ciencia y tecnología, del otorgamiento de becas para estudiantes de posgrado, y de los esfuerzos que la propia comunidad científica siga desarrollando para contribuir al crecimiento de la ciencia en México.

Actualmente son cerca de 700 los programas de posgrado que se imparten en el país, tres veces más de los que había en los años 80. Un efecto similar se reproduce con las instituciones mexicanas y los trabajos publicados. Las becas de posgrado son el único caso donde no sólo se triplican sino se cuadruplican durante el periodo de estudio. Lo anterior demuestra, que la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México empezó a consolidar a partir de la década de los años 90, etapa en la que se incrementó el número de becas y programas de posgrado, lo que seguramente influyó en el crecimiento del número de investigadores provocando a su vez el incremento de las instituciones coadyuvando a incrementar el número de publicaciones científicas. Lo anterior, seguramente tiene que ver con el fortalecimiento de los

centros CONACYT, el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), y la integración del sistema nacional de institutos tecnológicos en el país, sobre todo los dos primeros que presentan una producción más destacada.

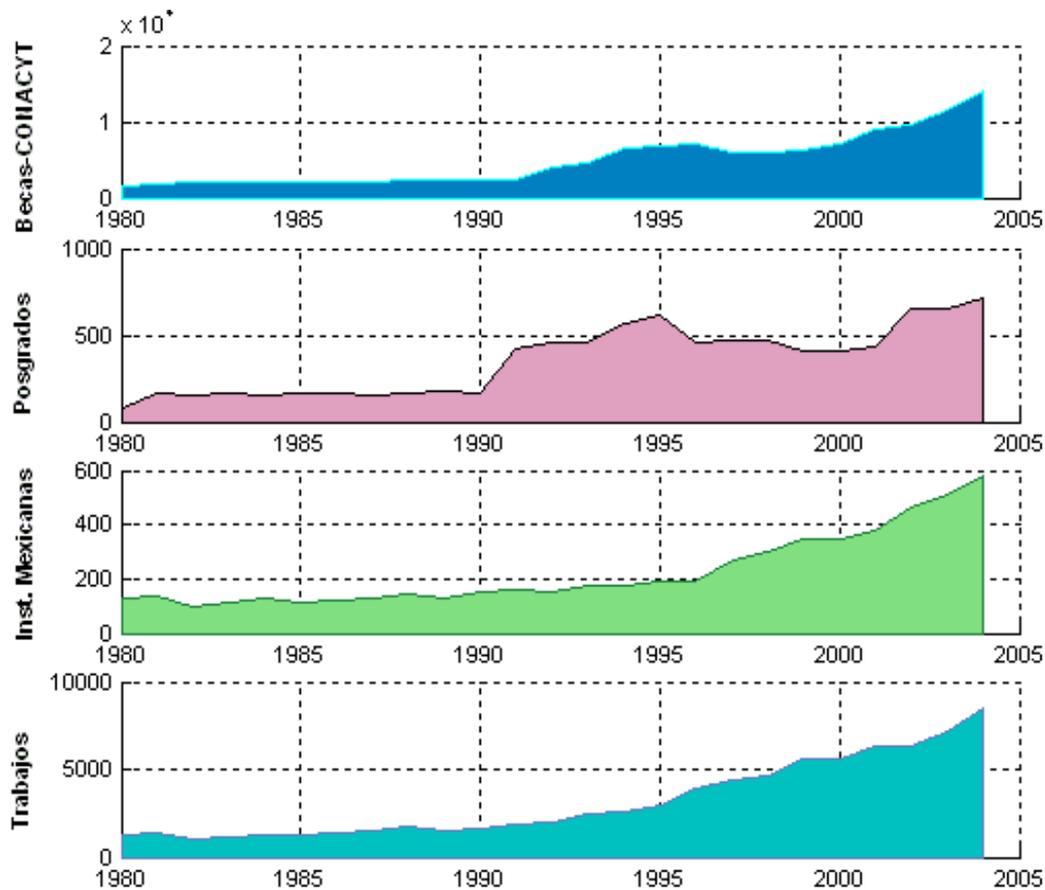


Figura 3-3. Distribución de becas, posgrados, instituciones y trabajos publicados por series anuales.

Fuentes: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Indicadores de actividad científica y tecnológica: 1990, 1995, 1996, 1998.

Elías-Treviño, G. 2006. El posgrado y la política pública. Tesis de Maestría. México: FLACSO.

Programa Nacional de Becas para la Educación Superior (2006). El papel de la investigación y la innovación en la educación superior. México: Pronabes, pp. 149-155.

3.3.2. PIB, gasto, investigadores SNI y becas CONACYT

A través de la figura 3-4 se muestra la distribución anual del PIB y el gasto en ciencia y tecnología asignado para el país, en comparación con el crecimiento de las becas CONACYT y los investigadores SNI. La idea de presentar estas

variables es con el fin de determinar si se observan dependencias entre ellas. En este caso, la primera de las gráficas hace referencia al PIB, como se aprecia los promedios son muy variados entre un año y otro, con valores mínimos de 0.27 y 0.28 en los años 1988 y 1989; valores máximos están representados por el 0.46 en los años 1981 y 1998. Lo anterior, es un tanto contradictorio comparado contra la figura que presenta el gasto en miles de millones de pesos asignados para el desarrollo científico y tecnológico, se puede advertir que éste se mantuvo entre cuatro y seis mil de millones de pesos durante el periodo de los años 80. A partir de 1991 se incrementa ligeramente, sin embargo, los incrementos más notables ocurren después de 1996 con crecimientos del doble de los ocurridos en los años anteriores, y del triple en el último periodo de estudio.

Las becas CONACYT como se muestra registran durante el periodo de los años 80 estabilizaciones, es en el año de 1992 cuando se observa un incremento, a pesar de que años posteriores nuevamente se presenta otra estabilización, en los 2000 vuelven a crecer. Por su parte, los investigadores SNI registran sus crecimientos más notables a principios de los años 90, los que se sostienen durante cuatro años (1990-1993) pues en los tres años siguientes baja (1994-1996). Finalmente concluye el periodo de estudio con incrementos que apenas rebasan los 10 000 investigadores por año. Al igual que otros indicadores éste también logra duplicarse durante los 20 años analizados.

Para concluir se puede decir, que la asignación del PIB y del gasto para ciencia y tecnología, no parece influir en los incrementos de investigadores SNI y becas CONACYT. Pues mientras el PIB muestra cambios constantes en sus promedios, la inversión en gasto se mantiene durante todo el periodo de los años 80 y parte de los 90 sin grandes cambios en la asignación de recursos económicos; mientras que las becas e investigadores SNI siguen creciendo, aunque con ciertos decrementos y años de estabilización. Sin embargo, no se puede negar que la asignación de recursos al desarrollo científico y tecnológico es una limitante en el crecimiento de la ciencia nacional. Prueba de ello son las becas CONACYT que siguen el mismo patrón de crecimiento que el gasto federal durante el periodo de los años 80.

Para concluir se puede decir, que según los datos que muestran las tres gráficas, no existe una dependencia entre las variables analizadas, cada una de ellas registra crecimientos en distintos tiempos y sólo coinciden en los incrementos de los últimos años.

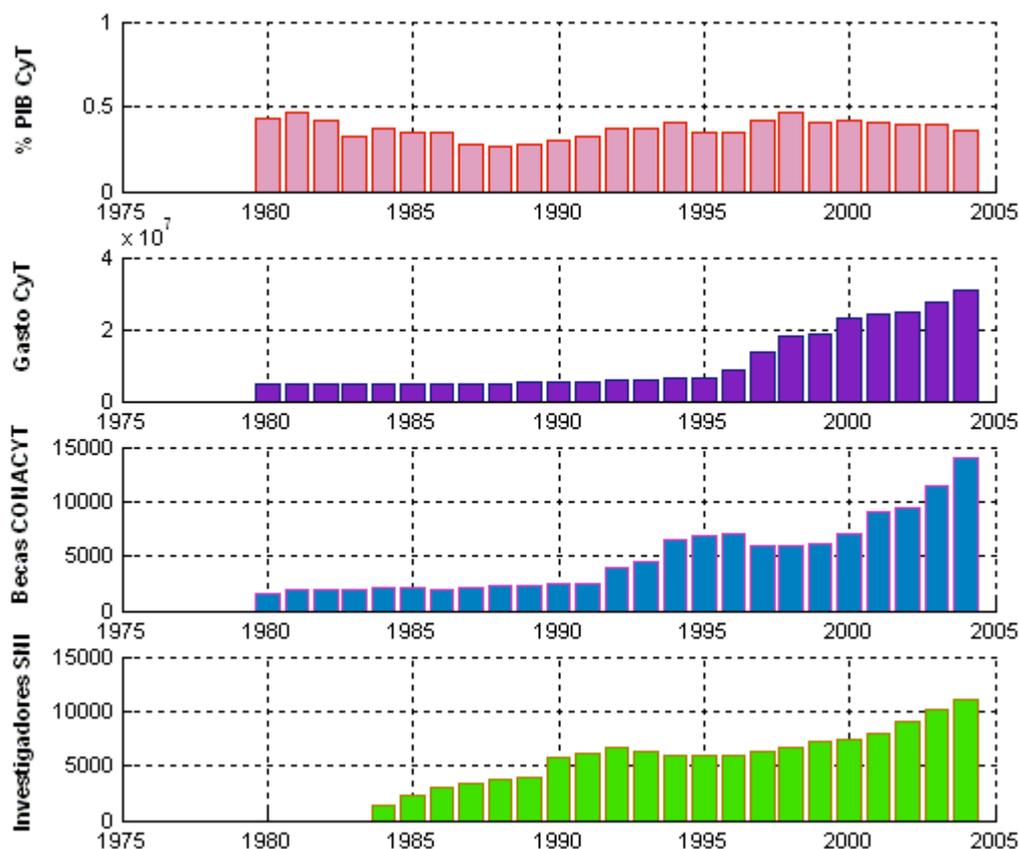


Figura 3-4. Distribución del PIB, gasto, becas CONACYT e investigadores SNI por series anuales.

Fuentes: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Indicadores de actividad científica y tecnológica: 1990, 1995, 1996, 1998.

Programa Nacional de Becas para la Educación Superior (2006). El papel de la Investigación y la innovación en la educación superior. México: Pronabes, pp. 149-155.

3.3.3. Trabajos y citas por década y quinquenio

En el periodo 1980-2004 los autores adscritos a instituciones mexicanas publicaron 79 433 trabajos de investigación a través de 5 383 títulos de revistas de corriente principal registrados en el SCIE, y acumularon un total de 654 036 citas, en promedio 3 177 trabajos publicados por año, y 26 160 citas anuales.

El 33% de los trabajos publicados se realizaron en coautoría y recuperaron el 82% del total de las citas registradas para México.

A nivel nacional 1 371 instituciones, incluidas las que reportan desde una, dos, tres o más trabajos, dieron lugar a la producción registrada para México en el periodo analizado. Gran parte de estos publicados en coautoría con 4 280 instituciones de origen externo pertenecientes a 143 diferentes países con los que México sostiene colaboración científica internacional.

Tal como se muestra en la tabla 3-1, durante la década de los años 80 no se rebasó el promedio de 1 500 trabajos publicados por año y por quinquenio; en cambio en el periodo de los años 90 la producción por año y por quinquenio se duplicó. No obstante, el primer quinquenio de los años 2000, a pesar de que la producción de trabajos y citas crecen de manera constante no logran duplicarse.

Por otro lado, los promedios de citas por quinquenio muestran una situación muy parecida a los trabajos. Es decir, en los años 80 las citas por año y por quinquenio se mantienen por arriba de las 10 000, mientras que en los años 90, sobre todo, en el segundo quinquenio se duplican por año y quinquenio, fenómeno que ya no se repite en el último quinquenio analizado. Por último, los promedios de citas por trabajo mostrados tanto por década como por quinquenio, permiten identificar a la década de los años 80, y a los quinquenios de 1985-1989 y 1990-1994 como los de mayor promedio de recuperación de citas por trabajo publicado (9.8) en el primer caso, y (9.9 y 10.5) para los segundos respectivamente.

La década de los años 80 presenta el mejor promedio de citas por trabajo publicado, debido a cuatro trabajos altamente citados durante el periodo con más de 500 citas cada uno, que en conjunto logran 2 713 citas lo que seguramente contribuye a levantar el promedio en estos años. También los años 90 registra trabajos muy citados, gran parte de ellos producto de las colaboraciones científicas internacionales incluidas las *Big Science* en las áreas de física de partículas y campos, astronomía y astrofísica, biología molecular y biomedicina. A esto se debe que el quinquenio 1990-1994 registre el promedio más alto de citas por trabajo publicado. Al igual que el quinquenio

1985-1989, está influenciado por la presencia de un trabajo muy citado en complemento con la unión de otros trabajos con menos citas pero en conjunto colaboran a elevar el promedio de citas.

Tabla 3-1. Promedios de producción y citas por década y quinquenio.

Década	Trabajos	Citas	Trabajos-Año	Citas-Año	Citas-trabajo
1980-1989	13353	130994	1335.4	13099.4	9.8
1990-1999	32099	290085	3209.9	29008.5	9.0
2000-2004	34076	206374	6815.2	20637.4	6.1
Quinquenio	Trabajos	Citas	Trabajos-Año	Citas-Año	Citas-trabajo
1980-1984	5963	57519	1192.8	11503.4	9.6
1985-1989	7390	73435	1478.0	14687.0	9.9
1990-1994	10634	111827	2126.8	22365.4	10.5
1995-1999	21465	178258	4293.0	35651.6	8.3
2000-2004	34076	206374	6815.2	20637.4	6.1.

De acuerdo con algunos estudiosos de la información, se publica tanta literatura científica a nivel mundial que gran parte de ésta pase desapercibida, simplemente porque es imposible recuperar y leer toda la información que se está produciendo aún en campos muy específicos (Saavedra-Fernández, 1995). En parte esto podría explicar los bajos promedios de citas de los últimos quinquenios de estudio de la ciencia mexicana; periodo en el que también se ubica el porcentaje más alto de trabajos no citados 28%, a pesar de que este porcentaje podría disminuir en los próximos años si logran acumular algunas citas.

Otra posible justificación podría ser las revistas donde últimamente se ha publicado. Los investigadores mexicanos dan a conocer la mayor parte de sus trabajos en revistas de corriente principal para garantizar la más amplia circulación en el ámbito internacional y mayores ventajas en la obtención de citas. El 7% de la producción científica registrada para instituciones mexicanas en el SCIE proviene de revistas mexicanas, el 0.28% (15) revistas latinoamericanas y del Caribe, las que prácticamente no son citadas, excepto la

revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica. Pero también es cierto que hay revistas de corriente principal no latinoamericanas que destacan por reportar un alto número de trabajos con 0 citas, por ejemplo: *Faseb J*, *Mod Phys Lett B*, *Int J Eating Disorder*, *Clin Infect Dis*, *Lect Note Comput Sci*, entre otros. La falta de citas de los últimos años no es problema de un área en particular, sino de todas las áreas en general.

En conclusión, los canales de difusión utilizados por los investigadores del país son los más adecuados, así lo permite inferir el alto promedio de trabajos dados a conocer en revistas internacionales, aún cuando muchas de ellas no registran citas para los trabajos publicados por instituciones mexicanas; y por lo que se observa, no se descuidan los medios locales donde también se dan a conocer buena parte de la producción total, prueba de ello es que todavía sostienen a algunas revistas mexicanas en los índices internacionales con cobertura SCIE.

3.3.4. Crecimiento de la ciencia mexicana por series anuales

La figura 3-5 muestra el crecimiento de los trabajos y citas de la ciencia mexicana por series anuales. Como se puede observar, los valores se llevaron a una escala logarítmica de base 10, con la idea de llevar a un plano similar ambos datos, y evitar la dispersión que producen los valores absolutos. Tal como lo muestra la figura, se distingue un paralelismo en el crecimiento tanto de los trabajos como de las citas acumuladas; demuestra lo anterior los valores que presenta la tabla 3-2 donde N_0 se obtiene de la ordenada de origen de la de las rectas de producción y citas; k , es la razón de aumento del logaritmo, y R^2 es el valor de regresión de los datos. Los coeficientes señalados indican que se trata de valores muy parecidos, con diferencias mínimas.

Tabla 3-2. Ajustes de crecimiento de la ciencia mexicana por serie anual.

	N_0	K	R^2
Trabajos	83	0.07	0.92
Citas	71	0.08	0.94

La trayectoria de ambas líneas muestra que la ciencia mexicana se mantiene con un crecimiento de tipo exponencial que apenas se sostiene, con ciertos periodos de estabilización y algunas caídas, tal como generalmente ocurre con la ciencia de los países en vías de desarrollo. Este efecto, como se mencionó, es muy parecido entre los trabajos y citas durante los tres periodos de estudio. Sin embargo, por lo que se observa, la década de los años 90 es el periodo de consolidación de la ciencia mexicana, único donde la producción y citas se duplican con respecto a la producción y citas de los años 80 y primera parte de los 2000.

Por otro lado, los primeros cinco años de los 2000 sugieren que en el resto del periodo continuará el crecimiento de la producción de trabajos y citas de la misma forma en que se ha venido dando pero, sin alcanzar a duplicarse como ocurrió en los años 90, y con muchas posibilidades de que termine en un proceso de estabilización sobre todo si continúa en descenso el PIB asignado para ciencia y tecnología.

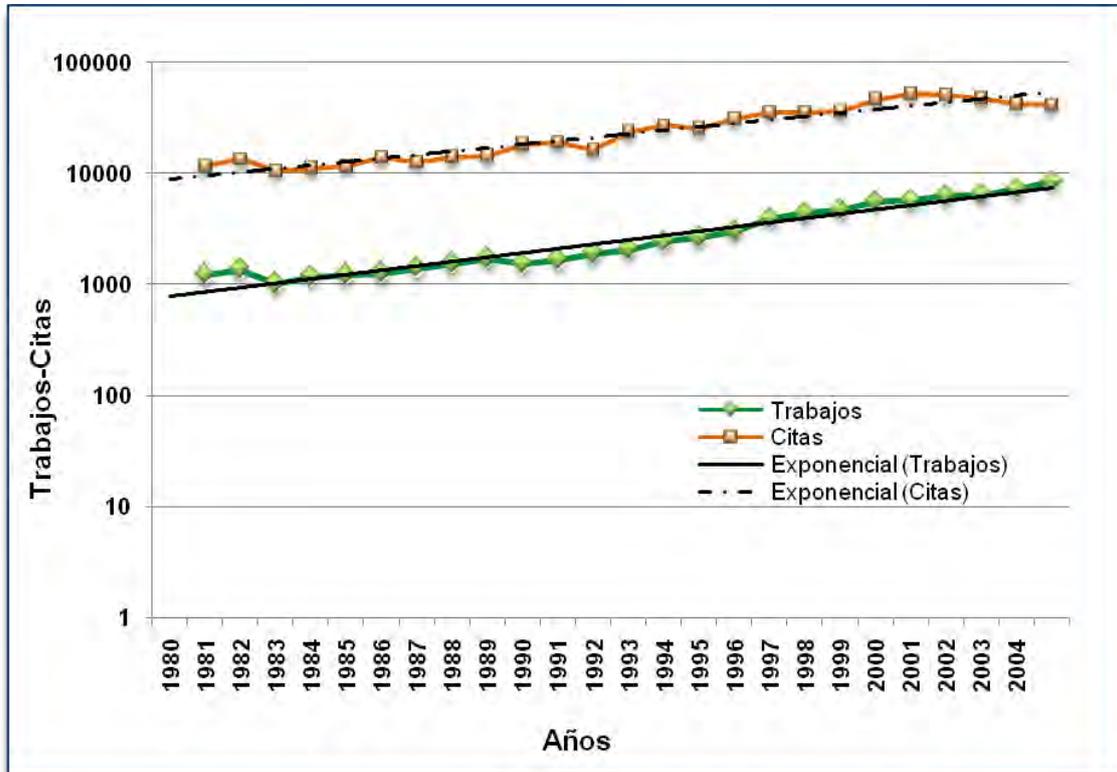


Figura 3-5. Producción y citas por serie anual.

Es importante recordar que la ventana de búsqueda de los trabajos publicados es de 1980 a septiembre del 2006, y la de las citas de 1980 a octubre del 2008 para los trabajos publicados entre 2000 y 2004. Esto quiere decir que se recuperó la mayor parte de las citas correspondientes a los trabajos publicados en los últimos años del estudio; no obstante, es seguro que se continuarán recuperando citas en los años posteriores al 2008, y esto seguramente ayudará para que la línea de las citas se levante.

3.3.5. Tipo de publicación

La tabla 3-3 presenta por quinquenio los trabajos publicados y las citas acumuladas a través de los diversos tipos de publicación que utilizan los investigadores para dar a conocer los resultados de la investigación. El artículo científico es el más difundido, 82.0% del total de trabajos se dan a conocer por este medio. Nada extraño si consideramos que la revista científica es el vehículo de mayor difusión en la comunicación científica. Aunque también sobresale por el número de trabajos publicados el material editorial, las cartas, las notas y las revisiones, que entre un quinquenio y otro incrementan considerablemente su producción. Además funcionan muy bien como medio de publicación, contribuyen como se muestra, con una alta recuperación de citas; es decir, con bajos porcentajes de trabajos publicados obtienen altos porcentajes de citas. Sobre todo las notas y las revisiones que con 2.5% y 2.2% de trabajos publicados, consiguen el 2.6% y 7.3% de las citas, respectivamente. Es importante mencionar que las notas tuvieron sus mejores momentos durante los quinquenios de 1985-1989 y 1990-1994, porque en los últimos dos quinquenios disminuyen su participación e incluso en el quinquenio de 2000-2004 no hay registro de estas publicados. El resto de los tipos de documentos registran menos del 1% de publicación, lo que se corresponde con los bajos porcentajes de citas; excepto los resúmenes de congresos que durante los años analizados se fueron incrementando, en particular en los últimos dos quinquenios, es por ello que termina ocupando el segundo lugar por el número de trabajos publicados (8.8%). Sin embargo, no son de los más citados.

Por último, los tipos de documentos como *revisión de hardware y software*, *bibliografía* y *el item about and individual* sólo están presentes en los primeros o, en los últimos quinquenios de estudio. Al igual que las notas, es muy probable que estos cambios tengan que ver con modificaciones en la clasificación de trabajos de las bases de datos del Web of Science.

Tabla 3-3. Tipo de publicación por quinquenio: trabajos y citas.

Tipo Documento	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	Total	% Trabajos	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	Total	% Citas
Article / Artículo	3920	5510	9649	19561	26521	65170	82.0	27314	29695	110107	147637	95186	409939	89.0
Bibliography / Bibliografía	0	0	0	0	7	7	0.0	0	0	0	0	1	1	0.0
Biographical-Item / Item-Bibliográfico	39	0	0	6	26	71	0.0	4	0	0	0	4	8	0.0
Book Review / Libro Revisión	4	3	4	100	123	234	0.3	0	0	4	3	0	7	0.0
Correction / Corrección	127	0	0	25	85	237	0.3	46	0	0	17	33	96	0.0
Correction, Addition / Corrección, Adición	22	0	7	21	0	50	0.0	98	0	88	14	0	200	0.1
Discussion / Discusión	26	31	28	1	0	86	0.1	37	21	48	0	0	106	0.0
Editorial Material / Material Editorial	32	27	71	225	476	831	1.1	149	168	196	453	977	1943	0.5
Hardware Review / Revisión-Hardware	1	0	0	0	1	2	0.0	2	0	0	0	2	4	0.0
Item About an Individual / Item individual	2	4	8	8	0	22	0.0	0	0	2	2	0	4	0.0
Letter / Cartas	167	321	408	507	585	1988	2.6	453	1109	821	1466	898	4747	1.0
Meeting Abstract / Resúmenes Congresos	1196	1059	1114	1655	2978	7002	8.8	167	88	71	155	178	659	0.2
News Item / Nueva copia	40	0	0	14	19	73	0.1	12	0	0	2	10	24	0.0
Note / Notas	373	547	770	239	0	1929	2.5	2235	2651	3320	1733	0	9939	2.6
Reprint / Reimpresos	11	0	1	7	3	22	0.0	33	0	0	31	2	66	0.0
Review / Revisiones	74	94	165	496	861	1690	2.2	2118	2726	5000	11496	7065	28405	7.0
Software Review / Revisión-Software	5	4	0	0	1	10	0.0	33	31	0	0	0	64	0.0

3.3.6. Idioma de publicación

Los investigadores mexicanos publican preferentemente en *inglés*, en este idioma dan a conocer el 91% del total de los trabajos publicados. Un 8% de lo restante corresponde a lo publicado en *español*; finalmente a través del 1% faltante difunden los documentos escritos en *francés, ruso, alemán, portugués, japonés, húngaro, italiano y chino*, es por ello que en la figura 3-6 se dejaron fuera por registrar únicamente dos y tres trabajos publicados, con cero citas reportadas.

La figura muestra en porcentajes la distribución de trabajos publicados y citas acumuladas por idioma de publicación y por quinquenio. Como se observa la preferencia por la publicación en inglés ha ido en aumento con el transcurso de los quinquenios. Esto sugiere que los investigadores buscan por un lado integrarse a los estándares internacionales de publicación, donde el inglés es el idioma internacionalmente leído, lo que a su vez garantiza que llegará a una comunidad más amplia de lectores generando mayores posibilidades para la recuperación de citas. Además la publicación de artículos científicos publicados particularmente en inglés, es uno de los requisitos indispensables considerados en la evaluación y promoción de la actividad científica.

Por otro lado, es interesante determinar que los investigadores mexicanos no han dejado de publicar en su lengua materna aún en las revistas de corriente principal. El español se sigue utilizado a pesar de que sólo un 8% de los trabajos se han dado a conocer por esta vía. Los porcentajes más altos de trabajos publicados en español se registran en los últimos quinquenios de estudio, justo cuando Thomson Reuters amplió su cobertura de búsqueda para sus diferentes bases de datos de 1900 al presente. Lo anterior, no sólo incrementó el número de registros para los diferentes países y autores sino también, aumentaron los títulos de revistas integradas a sus índices, entre ellas las de origen local y regional que en los últimos años registran incrementos de trabajos publicados tanto en español como en portugués (Luna-Morales y Collazo-Reyes, 2007).

El alemán y francés son idiomas de amplia tradición entre la comunidad científica mexicana, están identificados entre los más utilizados desde los primeros años de los 80. En cambio, el portugués empezó a registrarse a partir del quinquenio de 1995-1999 y es más abundante su participación en 2000-2004 gracias a la publicación de trabajos en colaboración bajo temas de investigación particularmente de biología, biomedicina, medicina, agricultura, agronomía, física y astronomía, con mayor predominio de las últimas orientadas al desarrollo de disciplinas Big Science.

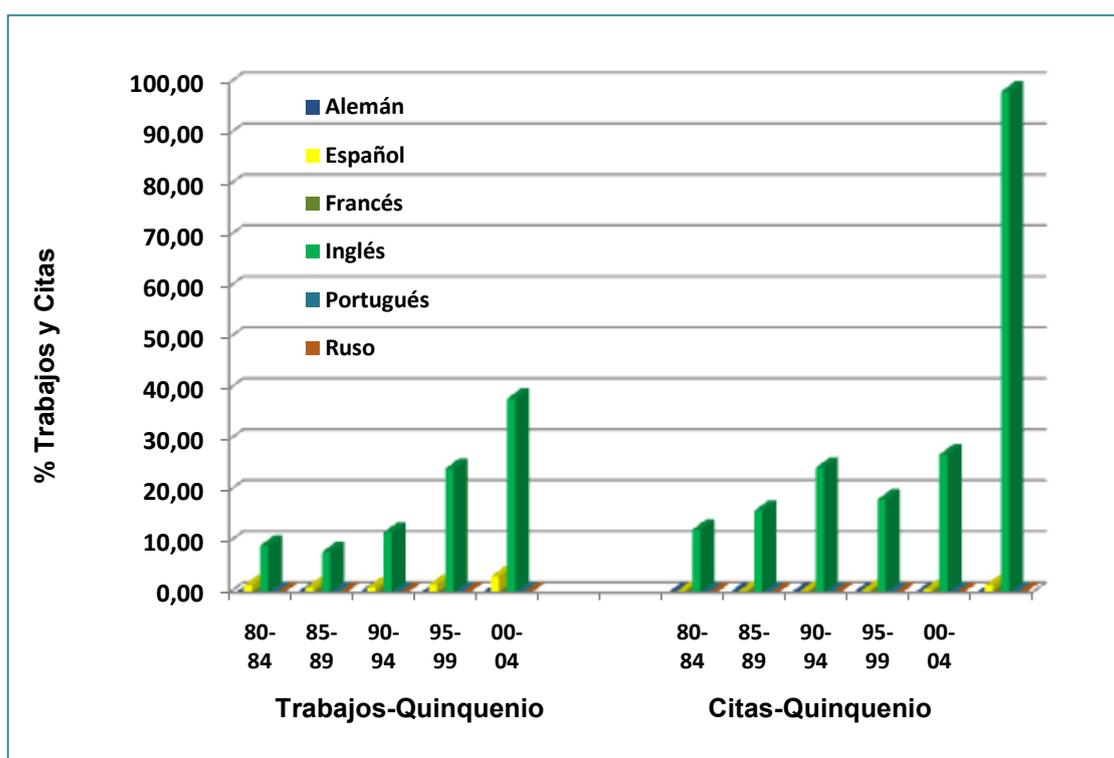


Figura 3-6. Trabajos publicados y citas acumuladas por idioma y quinquenio.

Con respecto a las citas por idioma de publicación y quinquenio, como se observa, el 98.3% de las citas son para trabajos dados a conocer en inglés, los publicados en español apenas registran el 1.4%. Esto demuestra que las revistas que publican los trabajos escritos en español, prácticamente no son citadas, y esto se debe en parte, a que los temas locales de investigación generalmente acordes a las necesidades del país, no son necesariamente de interés para las comunidades científicas internacionales. Por otro lado, aún

cuando tuvieran algún interés para los investigadores extranjeros sería difícil para ellos leerlos por el idioma en que están escritos. En este caso, las revistas mexicanas y en general latinoamericanas deberían considerar la posibilidad de publicar sus trabajos en inglés, el idioma elegido por el mundo científico para la difusión de los resultados de la investigación. De lo contrario, continuarán como hasta hoy, siendo útiles sólo a las propias comunidades locales con quienes comparte el idioma de publicación y los problemas de investigación.

3.3.7. Agrupamientos de autores por producción científica

La figura 3-7 presenta los 160 agrupamientos resultantes de autores por frecuencia de trabajos publicados. Como se puede observar es posible identificar distintos niveles de agrupamiento, el primero corresponde a los autores más altamente productivos, es decir, autores con más de 150 trabajos publicados. En el segundo están los agrupamientos de 26 a 55 autores que producen de 65 a 160 trabajos. El tercero incluye los agrupamientos que van de 56 a 120 autores y publican entre 50 y 130 trabajos. Finalmente, en el cuarto y último nivel de agrupamiento se encuentran de 121 a 160 autores los que dan a conocer de uno a 58 trabajos.

De acuerdo con los datos, el tercer nivel de agrupamiento de autores y frecuencias de trabajos, corresponde a los investigadores de producción media, y muy posiblemente son investigadores que están en edad promedio de 35 y 45 años (Carvajal y Lomnitz, 1981; Luna-Morales y Russell, 2009) que están buscando consolidar su producción, y con aspiraciones de alcanzar los 200 o más trabajos publicados. Se trata de autores de diferentes áreas, instituciones, y de trabajos publicados en diferentes años con predominio de los años 90 y 2000, entre los que sobresalen los autores que trabajan en colaboración científica, integradas por dos, tres o más investigadores, incluyendo las multi-institucionales, inter-institucionales o grandes colaboraciones, conocidas como *Big Science*. A esta última están integrados físicos mexicanos del área de partículas elementales, los biólogos que colaboran en el estudio del genoma humano, además de los orientados a cuestiones biomédicas y de la salud, así como los de astronomía y astrofísica y estudios del medio ambiente.

El cuarto y último agrupamiento corresponden a los autores que publican entre 1 y 58 trabajos, es muy probable que en este grupo se encuentren particularmente los investigadores jóvenes que se están iniciando en la investigación. Aunque seguramente también se encuentran los que en toda su vida académica no han rebasado los 30 trabajos publicados, incluidos los que realizan investigación por gusto sin estar adscritos a alguna institución de investigación, es por ello que, en sus direcciones aparecen direcciones de domicilios particulares.

Los datos también sugieren que la planta académica del país está envejeciendo dado que gran parte de los trabajos son publicados por los primeros agrupamientos de autores, justo donde se ubican los autores más productivos, lo que indica que se trata de autores con alta edad académica. En este sentido, es importante considerar cómo renovar la planta académica (De la Peña, 2007).

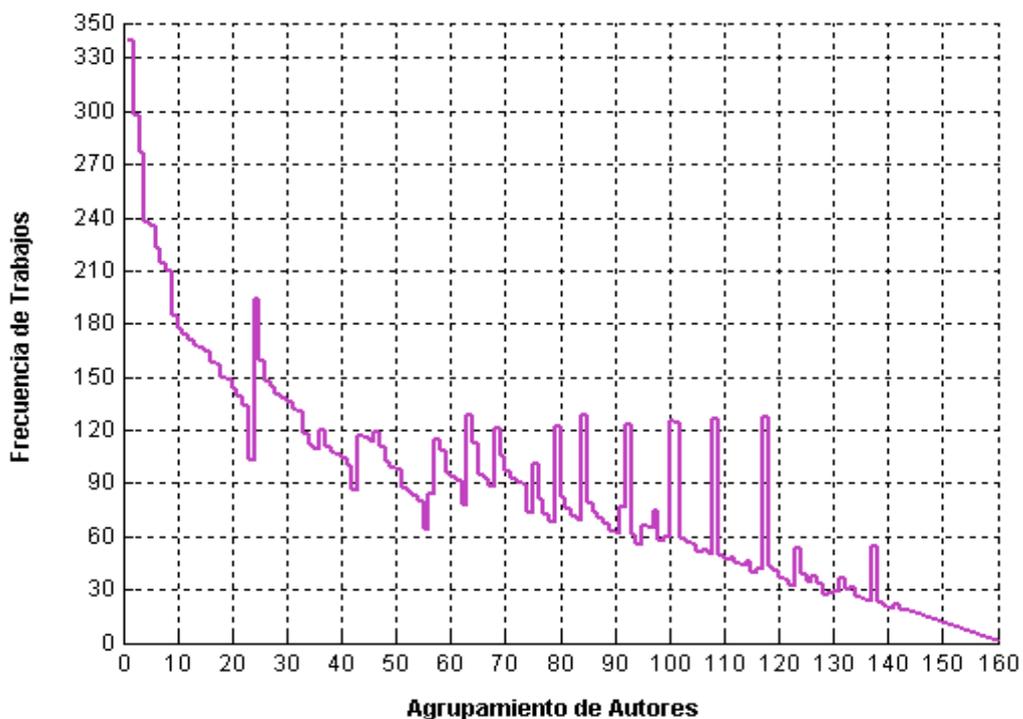


Figura 3-7. Agrupación de autores por frecuencia de publicación.

Por otro lado, los investigadores mexicanos registran en promedio un índice de coautoría de los documentos de 1.14 autor firmante por trabajo publicado, y el 0.33 como tasa promedio de documentos en coautoría o grado de colaboración.

La tabla 3-4 presenta el desglose de los datos que ayudaron a obtener el índice y tasa de coautoría de los trabajos publicados; el primero es resultado de dividir el total de autores entre el total de documentos, y el segundo se obtiene al dividir la cantidad de documentos entre el total de los mismos. La misma tabla permite determinar que predominan los trabajos en autoría única (67%), lo que quiere decir el 33% restante corresponde a los trabajos en coautoría.

Tabla 3-4. Índice y tasa de coautoría.

Nº AUTORES	CANTIDAD DOCUMENTOS	CANTIDAD AUTORES	TASA DOCUMENTOS EN COAUTORÍA	%
1	54480	18501	0.35000	67.32%
2	13988	27976	0.17284	17.28%
3	6518	19554	0.08054	8.05%
4	3584	14336	0.04429	4.43%
5	2358	11790	0.02914	2.91%
Sub-Total de doc/aut.mult.	26448	73656	0.32681	32.68%
TOTAL	80928	92157		100.00%

3.3.8. Modelo matemático de Lotka

Esta ley o modelo matemático fundamentado por Alfred Lotka busca identificar la distribución de autores según su productividad, enuncia que la mayor parte de los autores publican el menor número de trabajos, y que el menor número de autores da a conocer el mayor número de trabajos. Un aspecto que este modelo toma en cuenta es el periodo de estudio, entre más largo, se produce un mejor ajuste, sobre todo cuando se aplica a un área específica de investigación, aunque éste no es el caso, ya que se seleccionaron todos los autores sin delimitar por un área determinada o disciplina científica.

Tomando como referente que ésta es una de las leyes clásicas de la bibliometría y considerando que en el presente estudio se examinan 25 años, se optó por desarrollar el modelo de Lotka a los datos extraídos del sistema de minería del CIE. El anexo 3-1 muestra en nueve columnas ordenadas de A-I, la organización que se dio a los autores, empezando por un orden descendente según el número de autores observados y contribuciones. Como se muestra la primera y segunda columnas (A, B) se refieren a los autores por contribución y al total de los autores observados; la tercera (C) presenta el acumulado de autores observados; la cuarta (D) señala el valor del postulado de Kolmogorov Smirnov, el cual se ajusta muy bien para el ejercicio aplicado. De acuerdo con Lotka, el valor debe ser igual o aproximado al 60%, lo que quiere decir, que el 60% de los autores contribuyen únicamente con un solo trabajo.

La quinta columna (E) se refiere al cálculo de Lotka, donde se toma en cuenta el número de autores acumulados entre los autores observados elevado al cuadrado. Es decir, 54 480 son los autores que tienen contribuciones únicas, 13 620 al menos reportan dos trabajos, 6 053 publicaron tres, y así sucesivamente tal como lo muestra la columna respectiva. En la columna (F) aparece el valor del teórico acumulado de (E); en la columna (G) aparecen los valores producto de dividir el teórico acumulado entre el total de la misma columna; la columna (H) presenta la diferencia de $[f(x) - s(x)]$, es decir, (G-D). Por último, la columna G señala los datos de la columna H en valores positivos.

La distancia máxima entre los valores de $[f(x) - s(x)]$; su desarrollo, así como la obtención de las distancias tanto para Lotka como para Kolmogorov-Smirnov (S-K) se muestran la tabla 3-5. El estadígrafo K-S, es recomendado para comprobar si los datos de la muestra observada se ajustan estadísticamente a los calculados por el modelo de Lotka. El estadístico de prueba es $D = \text{máxima } [f(x) - s(x)]$, es decir, D es igual al valor absoluto de la máxima desviación entre la frecuencia relativa acumulada observada y la frecuencia relativa acumulada esperada.

Tabla 3-5. Distancias de los valores $[f(x) - s(x)]$.

D = MÁXIMA $[F(X) - S(X)]$		DONDE: F(X) = DISTRIBUCIÓN ACUMULADA TEÓRICA S(X) = DISTRIBUCIÓN ACUMULADA OBSERVADA			
D = máxima = 0.0195071		n = 91856 (tamaño de la muestra de autores)			
$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$					
$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$		n =	91856	Raíz ² de n 303.0775	
$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$		0.0053782			
0.0053782	<	0.0195071			
Este estadígrafo establece que cuando el valor resultante o calculado por él es mayor o igual a la distancia máxima identificada entre las muestras observada y calculada, se puede afirmar que estadísticamente tales comportamientos son regulares; o lo que es igual que se cumple el modelo.					

Lo que se busca es probar si el postulado de Lotka sobre la productividad de los autores se cumple, para ello, se compara la distribución de frecuencias de la muestra obtenida (teórica y calculada) que da lugar a la distancia máxima = 0.0195071, contra la distribución de $K-S = 0.0053782$. En este caso la distancia máxima de K-S es menor que la de $[f(x) - s(x)]$, lo que quiere decir, que dicho postulado no se cumple, y que estadísticamente los comportamientos son irregulares.

La figura 3-8 es la representación gráfica del postulado de Lotka, a través de la distribución de autores observados y calculados. Para disminuir la dispersión, a los datos se les aplicó el corte *cut off* de la muestra, que consiste en lo siguiente:

- 1). eliminar la raíz cuadrada del total de frecuencias
- 2). eliminar la raíz cuadrada del total de autores que contribuyen con una publicación (Gorbea-Portal, 2005).

Como se observa, ambas líneas se ajustan bastante bien, a pesar de la dispersión que manifiestan los autores observados y que se extienden más de lo normal, provocado por las contribuciones de autores que se elevan conforme los autores observados disminuyen. En parte el problema de ajuste también tiene que ver con la definición de los datos observados. En este caso atendemos una muestra poli-temática, lo que quiere decir que se tomaron

todos los autores correspondientes a las distintas áreas de investigación, cuando realmente se debe aplicar sobre muestras específicas de autores relacionados con áreas específicas.

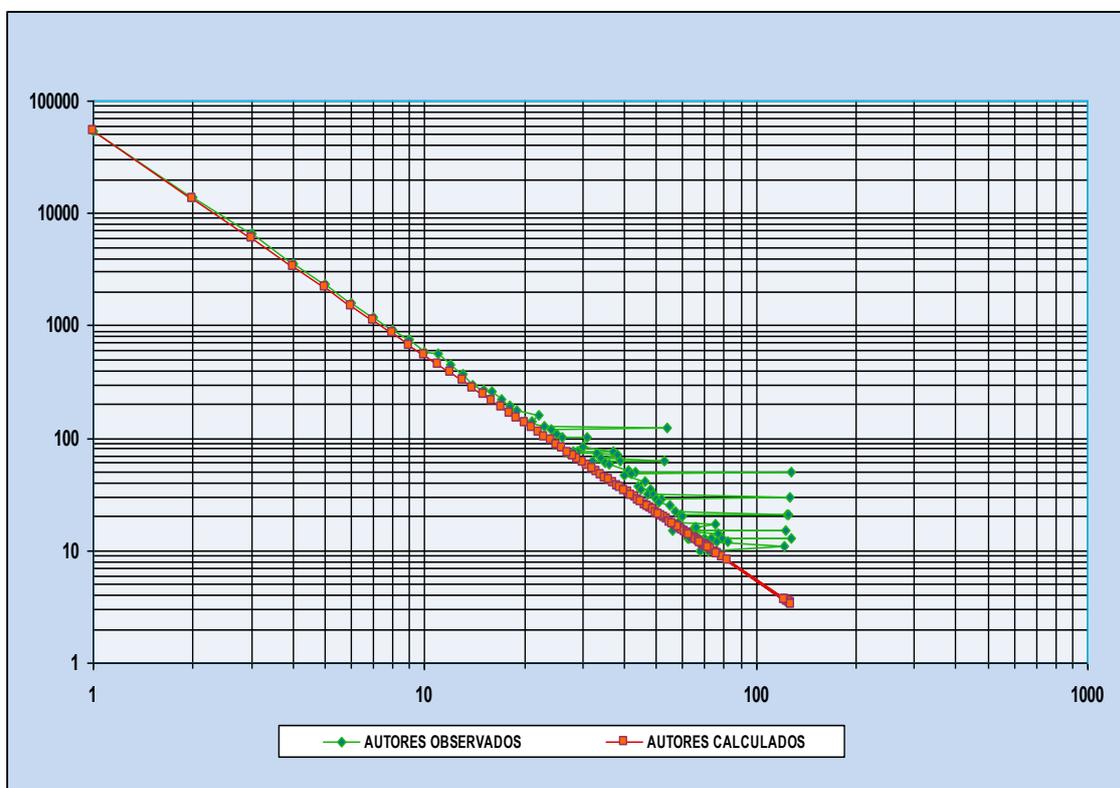


Figura 3-8. Representación gráfica del modelo matemático de Lotka.

3.3.9. Revistas de publicación

El sistema de minería de datos del CIE registra la presencia de 5 383 revistas elegidas por los grupos de investigación del país para dar a conocer sus investigaciones. Según los datos analizados el número de títulos se fue incrementando con el transcurso de los años. Durante el primer quinquenio los investigadores nacionales solamente utilizaban 1 117 revistas, equivalente al 22% del total de las que hoy disponen. El acumulado de 1980-1989 advierte que se incrementaron las revistas a 1 926, es decir, ingresaron a la lista 749 nuevos títulos elevando el porcentaje a 36% del total. De 1990-1994 se registra la presencia de 2 687 revistas representando el 50% del total registrado. Esto significa que los científicos del país seleccionaron otras 1 938 nuevas revistas para dar a conocer sus trabajos. Entre 1995-1999 se registra la existencia de 4

044 equivalente al 75% del total, es decir, 2 106 más de las que había en el periodo de 1990-1994. Finalmente el acumulado de revistas en todo el periodo analizado 1980-2004 es de 5 383, esto es, 1 339 revistas más de las utilizadas cinco años atrás. En conclusión, durante los primeros quinquenios los incrementos de revistas fueron del 14% y 15%, y en los últimos se elevó al 25%. Estos incrementos tienen mucho que ver con la especialización de los campos de investigación en los que están integrados los investigadores mexicanos, así como la demanda que algunas revistas presentan para la publicación de trabajos, lo que provoca la búsqueda de nuevas alternativas para la difusión de los resultados a través de revistas indizadas en fuentes internacionales como el SCIE. Es por ello que estos índices han crecido de manera muy rápida con respecto al número de revistas.

Las 21 revistas mostradas en la tabla 3-6 están identificadas como las más productivas al publicar por arriba de 300 trabajos durante todo el periodo analizado. Entre éstas sobresalen siete de origen mexicano de un total de 10 identificadas en los años de estudio: (1) *Rev Invest Clin* que publicó 2 067 trabajos, (2) *Rev Mex Fis* 1 343, (3) *Salud Pub Mex* 584, (4) *Rev Mex Astron & Astrofis* 431, (5) *Rev Mex Psicol* 393, (6) *Salud Mental* 357 y (7) *Arch Invest Med* 530; esta última, hasta 1991 fue editada por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), posteriormente cambió de nombre a *Archiv Med Res* al mismo tiempo que pasó a ser editada por Elsevier, actualmente es una revista con alto factor impacto.

Por otro lado, y según la categoría temática asignadas por el Journal Citation Reports (JCR), entre las revistas más utilizadas para publicar predominan las orientadas a difundir trabajos en las áreas de astronomía y *astrofísica*, *bioquímica* y *biología molecular*, *medicina general e interna* y *de investigación experimental*, *biología*, *microbiología*, pero sobre todo las físicas en sus diferentes campos: atómica, materia condensada, matemática, partículas y campos y multidisciplinaria. En este sentido, las disciplinas que predominan son: ciencias biológicas, físicas, químicas, medicina y ciencias de la salud y ciencias sociales. Los casos particulares de *Science*, *Nature* y *Proc Nat Acad*

Sci-EUA corresponden a revistas multidisciplinarias que publican trabajos de distintos temas y categorías científicas.

En la misma tabla clasificadas de 1 a 19 señala a las revistas más citadas según las referencias incorporadas en los trabajos publicados. Dado que el sistema del CIE toma para realizar estos conteos las referencias citadas en los trabajos publicados; de esta manera, se identificaron 192 978 títulos de revistas citadas, de las cuales y como se muestra en la tabla se distinguen: *Nature*, *Phys Rev Lett*, *J Biol Chem*, *Phys Rev B*, *Science*, *J Chem Phys*, *P Natl Acad Sci EUA*, *Astrophys J* y *Phys Rev D* por recuperar más de 10 000 citas. El resto aparecen citadas más de 5 000 veces. Juntas estas revistas logran acumular 200 303 citas. Lo que quiere decir, que el 0.35% del total de las revistas citadas, recuperan el 35% de la totalidad de las citas para México. Finalmente y de acuerdo con las categorías temáticas predominan las revistas que pertenecen a las áreas multidisciplinarias; astronomía y astrofísica; física aplica, de altas energías, en materia condensada y multidisciplinaria; química multidisciplinaria; bioquímica y biología molecular, neurociencias y microbiología. En conclusión sobresalen las ciencias físicas, biológicas, medicina y ciencias de la salud, así como las químicas y multidisciplinarias.

Por último, el FI de las revistas mostradas en la tabla 3-8 tanto las elegidas para publicar como las citadas, indica que se trata de revistas altamente reconocidas a nivel internacional. En términos generales se trata de revistas que recuperan mínimo dos citas por trabajo publicado, y máximo 52. En el caso de las revistas mexicanas, como se sabe, éstas no alcanzan altos factores de impacto al contrario son dadas de baja por las escasas citas que reciben; excepto la *Rev Mex Astron & Astrofis* que mantiene un FI superior a uno. En general los investigadores mexicanos prefieren dar a conocer sus trabajos de investigación en revistas de cobertura internacional donde puedan tener mayores oportunidades de ser leídos por sus pares, buscando de alguna manera, garantizar un mayor número de citas.

De acuerdo con M.A. Luna-Morales y F. Collazo-Reyes (2007), a partir de la iniciativa de Thomson Reuters de integrar el siglo de la ciencia, se incrementó el número de títulos de revistas mexicanas, Latinoamericanas y del Caribe en los índices del SICE, Social Science Citation Index (SSCI) y Arts & Humanities Citation Index (A&HCI), dando lugar a un crecimiento en los trabajos y citas, sin embargo, éste sigue siendo insuficiente para lograr un papel más destacado en los índices internacionales que mejor registran la ciencia mundial.

Tabla 3-6. Revistas de mayor publicación y citas.

Publicación	No. Trabajos	Categoría Temática	Disciplina Científica	FI 2007	Publicación	No. Trabajos	Categoría temática	Disciplina Científica	FI 2007
Rev Invest Clin	2067	Medicine, General & Internal	Med y C-Salud	0.324	Nature	17357	Multidisciplinary Sciences	Todas las disciplinas	28.751
Rev Mex Fis	1343	Physics, Multidisciplinary	C-Físicas	0.152	Phys Rev Lett	16678	Physics, Multidisciplinary	C-Físicas	7.072
Abstr Pap-Amer Chem Soc	1019	Chemistry, Multidisciplinary	C-Químicas	---	J Biol Chem	16366	Biochemistry & Molecular Biology	C-Biológicas	5.581
Arch Med Res	745	Medicine, Research & Experimental	Med y C-Salud	1.772	Phys Rev B	14649	Physics, Condensed Matter	C-Físicas	3.172
Salud Publ Mex	584	Public, Environ & Occup Health	Med y C-Salud	0.266	Science	14322	Multidisciplinary Sciences	Todas las disciplinas	26.372
Astrophys J	578	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	6.405	J Chem Phys	14127	Physics, Atom, Mol & Chem	C-Físicas	3.166
Phys Rev B	560	Physics, Condensed Matter	C-Físicas	3.172	P Natl Acad Sci EUA	13983	Multidisciplinary Sciences	Todas las disciplinas	9.598
Rev Biol Trop	531	Biology	C-Biológicas	0.274	Astrophys J	19311	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	6.405
Arch Invest Med	530	Medicine, Research & Experimental	Med y C-Salud	0.066*	Phys Rev D	10430	Physics, Particles & Fields	C-Físicas	4.696
Faseb J	513	Biochemistry & Molecular Biology	C-Biológicas	6.791	Astron Astrophys	9576	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	4.259
Phys Rev D	490	Physics, Particles & Fields	C-Físicas	4.696	J Am Chem Soc	9148	Chemistry, Multidisciplinary	C-Químicas	7.696
Astron & Astrophys	453	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	4.259	Brain Res	7502	Neurosciences	Med y C-Salud	2.218
Invest Ophthal Visual Sci	436	Ophthalmology	Med y C-Salud	3.766	Phys Lett B	7328	Physics, Multidisciplinary	C-Físicas	4.189
Rev Mex Astron & Astrofis	431	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	1.344	Phys Rev A	6525	Physics, Multidisciplinary	C-Físicas	1.711
Rev Mex Psicol	393	Psychology, Multidisciplinary	C-Sociales	0.159	J Bacteriol	6294	Microbiology	C-Biológicas	4.013
Salud Mental	357	Psychiatry	Med y C-Salud	0.726*	Mon Notic Roy Astron Soc	6233	Astronomy & Astrophysics	C-Físicas	5.249
J Chem Phys	348	Physics, Atom, Mol & Chem	C-Físicas	3.166	New Engl J Med	5938	Medicine, General & Internal	Med y C-Salud	52.589
Phys Rev Lett	327	Physics, Multidisciplinary	C-Físicas	6.944	J Appl Phys	5562	Physics, Applied	C-Físicas	2.171
Phys Rev E	324	Physics, Mathematical	C-Físicas	2.483	Lancet	5278	Medicine, General & Internal	Med y C-Salud	28.638
Phytochemistry	305	Biochemistry & Molecular Biology	C-Biológicas	2.322					
Hepatology	304	Gastroenterology & Hepatology	Med y C-Salud	10.734					
Totales	12638					206607			

3.3.10. Evolución de las principales revistas de publicación

En la figura 3-9 se muestra la forma en que evolucionaron las revistas clasificadas por quinquenio con el más alto número de trabajos publicados. En esta gráfica aparecen las revistas que en al menos un quinquenio estuvieron entre las 15 de mayor publicación. Se advierte que durante los tres primeros quinquenios las revistas publican del orden de 100 a 500 trabajos, a partir del cuarto quinquenio algunas de ellas registran hasta 1 000 y 2 000 trabajos como es el caso de *Phys Rev Lett* y *Phys Lett B*. De igual manera se observa cierta movilidad de las revistas, no siempre son las mismas las que se mantienen en los sitios más altos por el número de artículos que publican. Incluso se aprecia que hay revistas que en los primeros quinquenios no aparecen, otras desaparecen y unas más cambian de título, es por ello que se exhiben las continuaciones entre un título y otro tal como ocurre con *Arch Invest Med* que posteriormente cambia a *Arch Med Res*. La *Rev Invest Clín* es la única que se mantiene durante todo el periodo de estudio como una de las más productivas, de hecho se sostiene con el mismo promedio de trabajos durante los distintos periodos de estudio; forma parte del grupo de revistas mexicanas identificadas con mayor producción científica en el país, integradas a los índices del ISI. El resto de las revistas varían su posición según el quinquenio en que se integran y la posición que logran en cada periodo analizado. Cabe mencionar que si una revista aparece entre las 15 con mayor número de publicaciones, no necesariamente está presente en todos los periodos, sin embargo, sus datos se completaron incluso para aquellos periodos donde no aparece como las más productivas.

Finalmente y como se observa en la misma figura, destacan los títulos correspondientes a disciplinas como: ciencias físicas, biológicas, químicas, así como medicina y ciencias de la salud, donde predominan los títulos de revistas internacionales, entre ellos siete de edición regional incluida la *Rev Invest Med Exp* de origen chileno, y seis mexicanas. De alguna manera, esto confirma que los científicos mexicanos no dejan de publicar en las revistas editadas local y regionalmente.

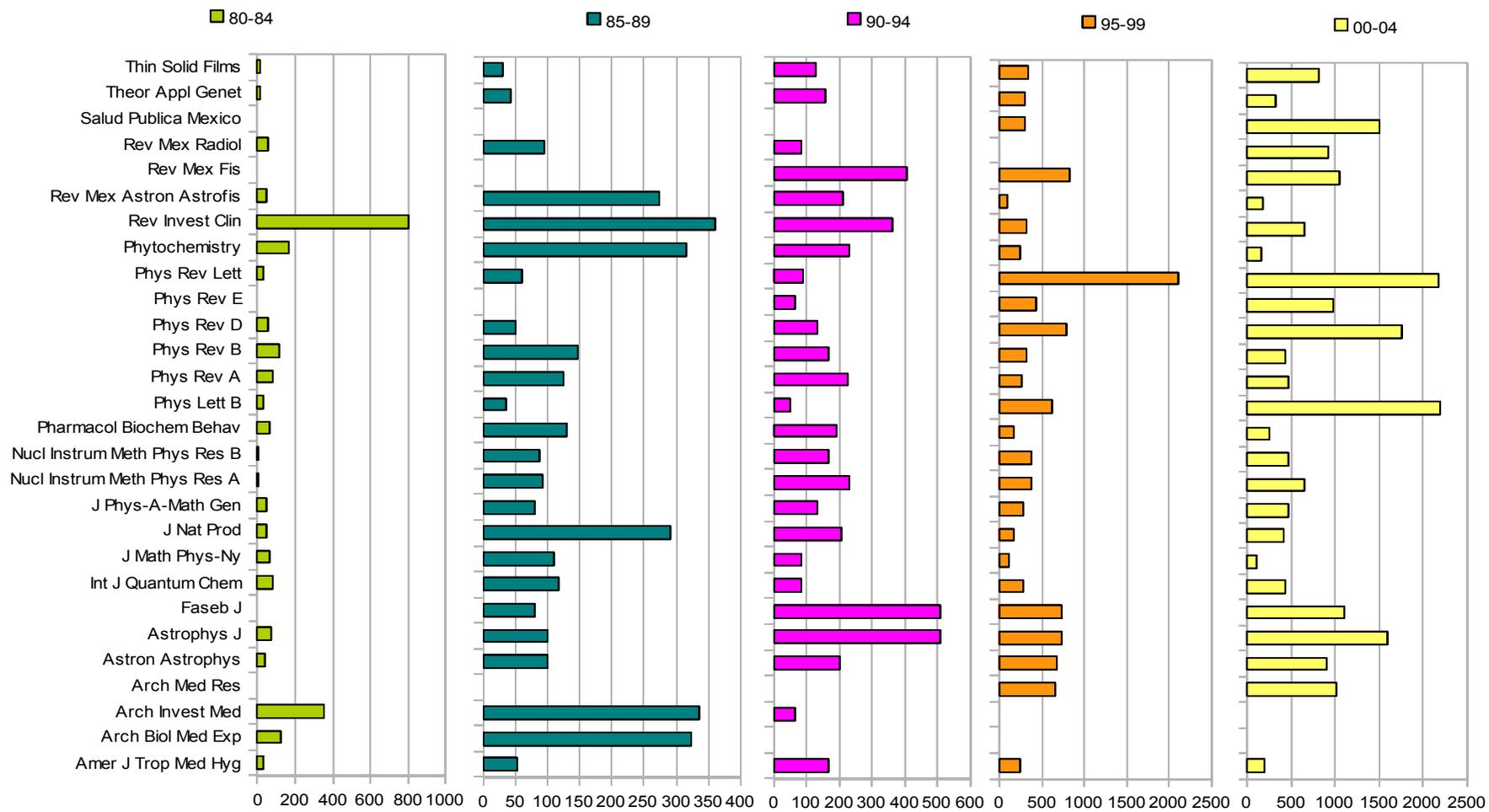


Figura 3-9. Clasificación de revistas con mayor número de trabajos publicados por quinquenio.

3.3.11. Modelo Matemático de Bradford

El anexo 3-2 presenta en nueve columnas el desglose que se le da a los títulos de revistas y artículos publicados para determinar los tres núcleos o zonas principales de distribución de trabajos por revista. Tal como se muestra en el anexo, la columna (A) corresponde a los títulos de revistas; en la (B) los artículos publicados en las revistas; (C) es la multiplicación de títulos por artículos de revista; (D) son los acumulados de revistas; (E) el acumulado de artículos; (F) es el logaritmo de las revistas acumuladas; (G) es la cantidad de artículos calculados, (H) la diferencia entre artículos acumulados o residuales y la cantidad de artículos calculados. Finalmente la columna (I) se refiere a la diferencia entre residuales y calculados multiplicado por su porcentaje (Gorbea-Portal, 1996). Estos datos ordenados en forma decreciente ayudaron a identificar las tres principales zonas de concentración – dispersión expresada en términos de producción de la revistas fuente. Para determinar las zonas se aplicó la siguiente fórmula:

$$r = m/p$$

Donde:

r= es el promedio de artículos publicados por revista

m= es el total de revistas

p= es el total de artículos publicados

Sustituyendo con los valores obtenidos, rápidamente se advierte la presencia de la primera zona que queda integrada por 82 revistas que publican en total 26 403 documentos, lo que quiere decir, que cada una de estas revistas publica en promedio 321.98 artículos. La segunda zona está constituida por 487 revistas que dan a conocer 26 475 trabajos, y registran en promedio 54.36 documentos por revista. La última o tercera zona generalmente es conocida como periférica por el alto número de revistas que reúne, 4 814 y el bajo promedio de artículos que publican 5.51. Para concluir podemos decir, que las revistas concentradas en la primera zona son las de mayor importancia para la comunidad científica del país, porque dan a conocer los promedios más altos de trabajos. Las publicadas en la zona dos se mantienen con relativa importancia dado que su promedio de publicación es considerable, sin

embargo, las ubicadas en la zona tres deben ser utilizadas en menor medida sobre todo por el escaso número de trabajos que difunden.

La figura 3-10 muestra la distribución gráfica de Bradford, donde se observan dos distribuciones numéricas distintas: por un lado está la línea correspondiente a las referencias observadas, es decir, los datos acumulados de los títulos de revistas analizados y los artículos que publican; por otro, están las referencias acumuladas calculadas, que se encarga de medir la altura de la pendiente e identificar el punto donde interceptan las líneas. Para establecer matemáticamente las coordenadas que identifica cada punto de la recta calculada, se emplea el método de mínimos cuadrados a través de la función logarítmica siguiente:

$$y=a+b.x$$

Donde:

Y = Rc(n) cantidad calculada de artículos

a = intercepto, punto calculado donde se corta la recta con el eje de la Y. Cuando este valor es negativo indica que se corta por debajo del eje de la X o abscisa

b = a la pendiente de la recta, es decir, la altura que alcanza la curva en relación con el valor de las X.

a y b son los valores constantes para cada punto que se suma y multiplica por cada valor del logaritmo, es decir, del $\log(n)$ = al logaritmo de la cantidad acumulada de títulos. Este punto permite tabular las publicaciones más importantes, según su producción.

x = es la suma de **a + b**

Como se observa se trata de un gráfico semi-logarítmico donde se muestra que la recta se corta en el eje de las Y registrando un valor negativo para (**a**) – 18606.0857. Así mismo el valor de (**b**) es de 25190.27633 y por último el coeficiente de regresión (**r**) resultó relativamente elevado de 0.973108127, que permite determinar con precisión el inicio de la fracción recta mediante la extrapolación de los valores calculados de la variable dependiente. En realidad el ajuste más apropiado ocurre al centro donde ambas líneas logran coincidir,

en tanto que en los extremos se encuentra la primera y tercera zonas, precisamente donde se localizan las diferencias entre ambas líneas.

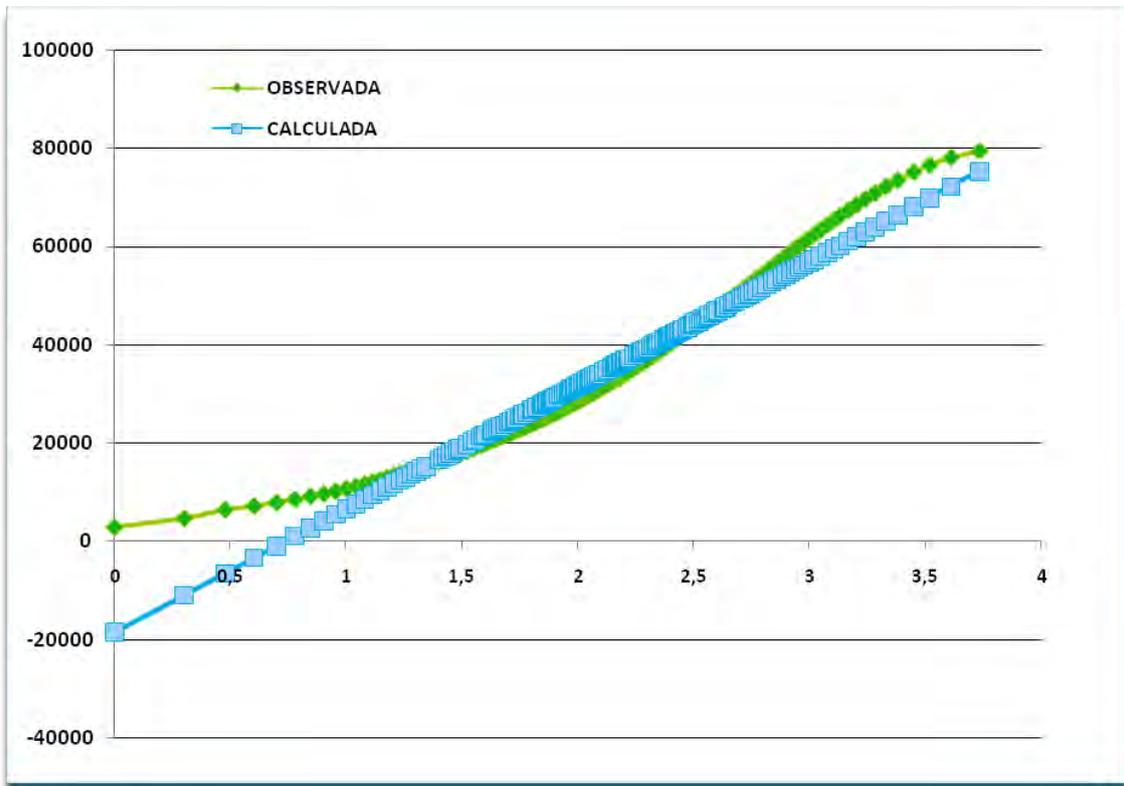


Figura 3-10. Representación gráfica del modelo matemático de Bradford.

La comprobación del ejercicio se basó en la formulación gráfica de este modelo:

$$\frac{p^1}{p} \approx n \approx \frac{p^2}{p^1} \quad : \quad \frac{p^2}{p} \approx n^2 \quad : \quad \frac{r}{r^1} \approx n^1$$

Sustituyendo los valores:

$$\frac{487}{82} \approx n \approx \frac{4814}{487}; \quad \frac{4814}{82} \approx n^2 \quad \frac{321.98}{54.36} = n^1$$

$$5.93 \approx n \approx 9.88; \quad 58.70 \approx n^2 = 5.92 = n^1$$

$$\frac{5.93 + 9.88}{2}$$

$$\frac{15.22}{2} = 7.61 \approx n$$

$$(7.61)^2 = 57.91 = n^2$$

$$\boxed{n = 57.91 = n^2 = 54.36}$$

Reemplazando los datos obtenidos para el presente estudio, obtenemos que, el promedio de artículos por revistas en las diferentes zonas r , r^1 , r^2 respectivamente es igual a:

$$\frac{r^1}{r^2} = n^2$$

$$\frac{54.36}{5.51} = n^2$$

$$9.86 = n^2$$

$$15.00 = n^2$$

$$\frac{15.00}{2} = \boxed{7.5}$$

$$2$$

Cálculo del multiplicador de Bradford para la muestra analizada. Los títulos analizados por zona son: 82, 487 y 4 814.

$$n^0: n^1: n^2: 1: n: n^2$$

$$(7.5)^0 = 1: (7.5)^1: 7.5: (7.5)^2 = 56.25$$

$$\boxed{82 (1) = 82; 757.5; 5681:: 82; 487:4814}$$

3.3.12. Revistas, trabajos y citas por serie anual

La figura 3-11 hace referencia a la distribución de revistas, trabajos y citas por serie anual. Como se observa, el desplazamiento de las líneas es muy parecido en los dos primeros casos (número de revistas y de trabajos publicados), e incluso las citas también muestran un efecto similar en los quinquenios correspondientes a la década de los años 80; sin embargo, se sale del esquema porque su línea se levanta ligeramente en 1981, a causa de un trabajo publicado en este año por el instituto de física de la UNAM y que ha registrado en total 1 083 citas. Un efecto similar ocurre en 1985, en este caso no se trata de únicamente de un trabajo altamente citado, sino de la publicación de varios que ayudan a incrementar las citas.

En los siguientes años, sobre todo de 1990-1995, el crecimiento de las revistas y trabajos sigue siendo muy semejante, pero de 1995 en adelante cambian completamente. Las revistas presentan un esquema ascendente aun cuando en 2001 y 2002 se estabiliza su crecimiento, que nuevamente vuelve a levantarse en los últimos años de estudio. Los trabajos, a partir de 1995 registran dinámicas de crecimiento, en combinación con algunos altibajos y estabilizaciones, finalmente termina en 2004 con un incremento en la producción.

Las citas presentan los crecimientos más atípicos, excepción de los años 80 donde se ven periodos más largos de estabilización, de 1990 en adelante sólo se distinguen crecimientos, estabilizaciones y caídas en particular al final del periodo de estudio. Esto último es normal, dado que es muy probable que algunos trabajos todavía recuperen más citas, sobre todo las registradas en años posteriores a 2008, ya que este fue el último año en que se recuperaron citas, en particular para los trabajos publicados entre 2000 y 2004 que estaban menos representados.

Los crecimientos observados en revistas, trabajos y citas en el periodo de los años 1990, es muy probable que tengan que ver con el incremento de las becas nacionales e internacionales y la mejoría de los programas de posgrado, así como la incorporación de investigadores a nuevas áreas de investigación y el aumento en el número de trabajos en colaboración científica sobre todo internacional. En este sentido, los puntos más altos en la línea de las citas son consecuencia de un mayor número de trabajos publicados, algunos de ellos muy citados dados a conocer en 1993, 1995, 1997 y 2001 y que sumadas las citas de otros trabajos también publicados en estos años, que recuperaron más de 200 y menos de 500 citas ayudaron a producir dichos efectos. Las citas de 1993 es un efecto producido por un trabajo publicado por la SSA a través del Instituto Nacional de Psiquiatría y que recuperó 697 citas. En 1995 es la fusión de dos trabajos muy citados, el primero de la SSA con el Instituto Nacional de Cardiología que recuperó 771 citas, y el segundo por el CINVESTAV Departamento de Físicas con 623 citas. En 1997 se dio a conocer el trabajo más citado para México 2 709 citas, publicado por el Centro de Investigación y

Fijación del Nitrógeno, hoy Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM. Por último, el trabajo que contribuye a levantar las citas en el año 2001 es nuevamente publicado por la SSA con el Instituto de Cancerología y que ha logrado acumular hasta el momento 721 citas.

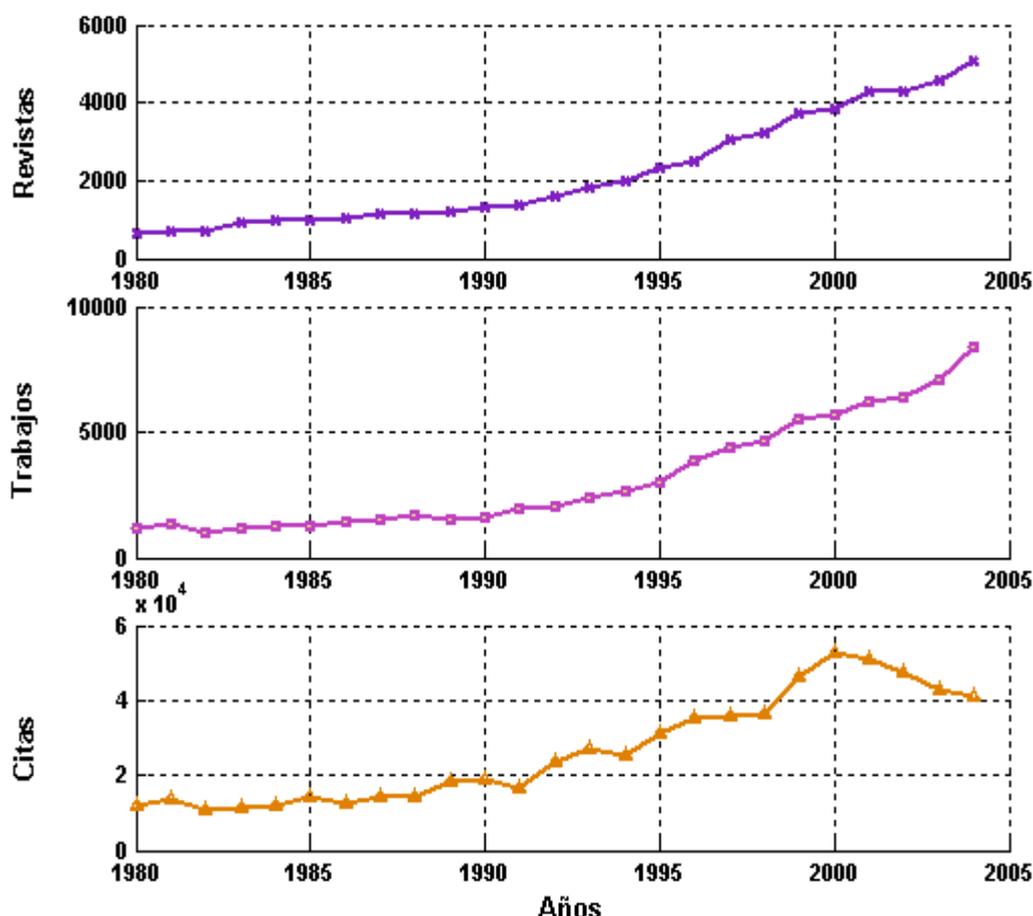


Figura 3.11. Distribución de revistas, trabajos y citas por serie anual.

3.3.13. Producción y citas por entidad federativa: descentralización

3.3.13.1. PPPN, instituciones y producción científica

La figura 3-12 muestra la distribución de programas de posgrado del padrón nacional (PPPN), instituciones y producción científica por entidad federativa. La gráfica se llevó a escala logarítmica para levantar las líneas sobre todo la de programas de posgrado, misma que provoca un error por los valores en cero que registra para el estado de Campeche; razón por la cual tampoco se puede aplicar una línea de tendencia que ayude a determinar la tasa de crecimiento en comparación con las otras variables de estudio. Aun así, la figura presenta

los movimientos ocurridos para cada variable analizada, y de acuerdo con el comportamiento que las líneas presentan, los datos registran un patrón muy inestable en el crecimiento y decrecimiento tanto para en los PPPN, las instituciones y la producción registrada por entidad federativa.

La figura permite advertir lo que se ha venido comentando, que gran parte de los estados del país empiezan a registrar una participación más destacada en el desarrollo de la ciencia en México, a través del incremento de programas nacionales de posgrado, sobre todo por medio de las instituciones de educación superior del país, de los centros CONACYT y los institutos tecnológicos estatales; además de la apertura de recientes instituciones de educación particularmente privadas como el ITESM, entre otras instaladas en las diversas entidades federativas.

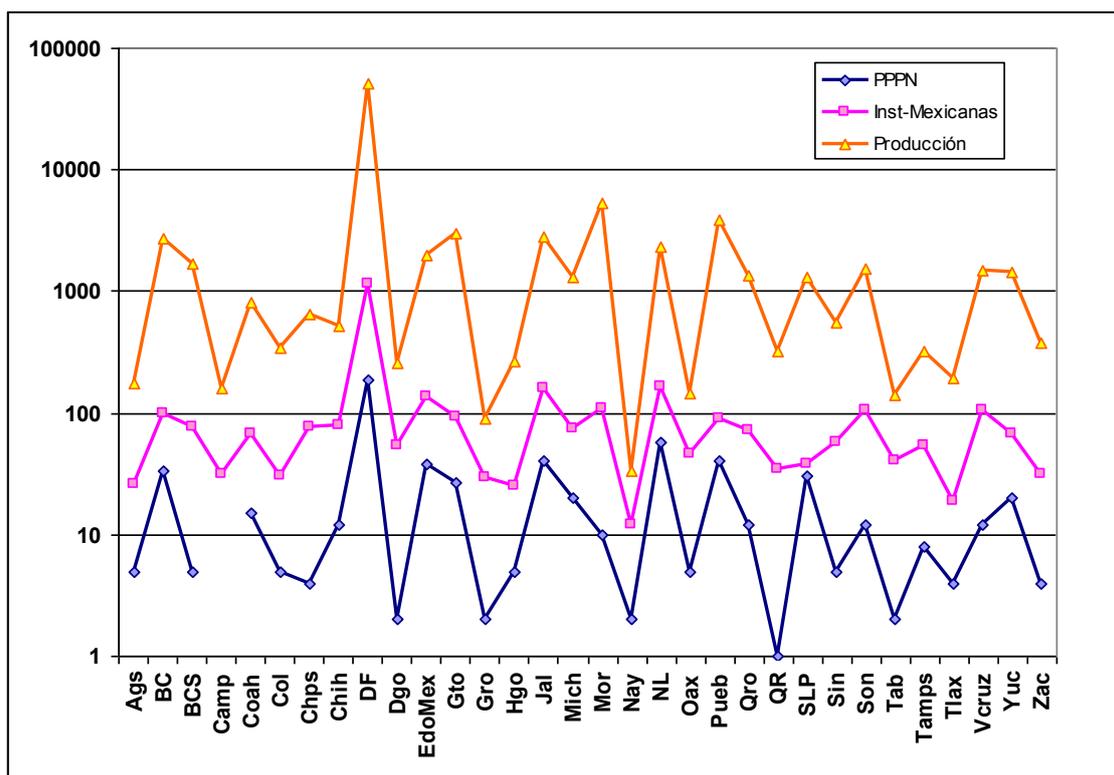


Figura 3-12. Crecimiento de PPPN, instituciones y producción científica.

En conclusión existe una mejor relación de crecimiento entre los PPPN y la producción científica, que entre las instituciones. Vale la pena destacar los casos de BC, Coahuila, Edo Mex, Guanajuato, Jalisco, Morelos, NL, Puebla y

Sonora, así como el DF que registran crecimientos en los tres aspectos analizados. Otras entidades como Querétaro y SLP que sobresalen en la relación PPPN con producción.

Es importante mencionar el papel tan sobresaliente que desarrollan las universidades estatales, que generalmente tienen el liderazgo en el desarrollo de la institucionalización y profesionalización de ciencia, no sólo en México sino, también en otros países. A ello se debe que las instituciones más productivas y con mayor impacto sean las universidades públicas. Esto es más contundente después de aprobarse el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), que consiste en la formación, la dedicación y el desempeño de los cuerpos académicos de las universidades como un medio para elevar la calidad de la educación superior, al mismo tiempo que se incrementa la producción e impacto científico.

3.3.13.2. Trabajos y citas

La tabla 3-7 está constituida de ocho columnas; la primera únicamente muestra un número para identificar a las entidades federativas que conforman la estructura geográfica de la República Mexicana; la segunda incluye el nombre de cada entidad federativa. La tercera muestra el número de miembros integrados al Sistema Nacional de investigadores (SNI) por entidad federativa; en la cuarta está incluido el total de trabajos publicados, y en la quinta el total de citas. La sexta, séptima y octava desglosan los porcentajes de investigadores (SNI), trabajos y citas.

Los datos que la tabla presenta permiten observar lo siguiente: (1) que hay una correspondencia entre las entidades que disponen de los grupos más grandes de investigadores SNI, ya son a su vez las que más trabajos y citas registran en el periodo analizado. Los casos irregulares lo muestra el Estado de México que ocupa el segundo lugar de investigadores SNI con 692, y es el que menos producción y citas registra en el periodo de estudio; todo lo contrario a Morelos que con menos investigadores (679) está ocupando el segundo lugar a nivel nacional en producción y citas. Otro caso extraordinario es el de BCS con únicamente 160 investigadores produce el 2.1% y 0.08% del total de los

trabajos y citas registradas para México. (2) por la distribución de trabajos y citas que cada entidad federativa registra es viable determinar la presencia de tres grandes grupos: el primero integrado por las de mayor tradición científica en el país entre ellas el DF, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León, Puebla y BC con porcentajes mayores al 2% tanto en investigadores SNI como en trabajos y citas. El segundo grupo está conformado por entidades que podríamos llamar de refuerzo, posiblemente con menos experiencia en la investigación durante los años 80, entre ellas: Coahuila, Chihuahua, Hidalgo, Querétaro, SLP, Sinaloa, Sonora, Veracruz y Yucatán que en general anuncian entre 1.0% y 1.9% en investigadores, trabajos y citas. El caso extraordinario es Querétaro con 2.1% de investigadores pero con porcentajes de más del 1% en lo demás. El tercer grupo corresponde a las entidades con menos del 1% en todo, se trata particularmente de las entidades del Sureste del país, uno del noroeste, uno del noreste, y dos del centro occidente, es decir, Campeche, Colima, Chiapas, Durango, Guerrero, Nayarit, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas.

En la lista de entidades aparece EUA que a través de San Isidro y San Diego California registran trabajos para nuestro país, publicados bajo la dirección de la UNAM relacionados con el Instituto de Física, de Astronomía, el Observatorio Astronómico y el Centro de Ciencias en Materia Condensada. En este caso no se tienen contabilizados recursos SNI, pero logran producir 57 trabajos los que recuperan 559 citas, un equivalente al 0.07% en trabajos y 0.11% en citas, más de lo que logra Nayarit, Aguascalientes, Guerrero, Oaxaca y Tabasco, sobre todo en citas.

La ciencia en México se está consolidando, prueba de ello son los porcentajes que por entidad federativa se muestran, sobre todo, en aquellas que tienen tradición en la investigación científica. Sin embargo, no todas presentan el mismo esquema, más de la mitad todavía no alcanzan el 1% en producción y citas, tampoco en investigadores SNI. Es por ello que se complica cuando se habla de descentralización de la ciencia en México, donde el más directamente ligado a esta problemática es el CONACYT a quien le corresponde junto con los estados internos atender en un primer momento, la integración de absolutamente todas las entidades a la investigación científica, y en una

segunda etapa, buscar la forma de llevarlos a niveles más dinámicos de investigación hasta que logren alcanzar no sólo la consolidación, sino también la madurez a través de la aplicación de la investigación científica en la solución de problemas de la industria y la transferencia de tecnología.

Tabla 3-7. Distribución de investigadores SNI, programas nacionales de posgrado, trabajos y citas por entidad federativa.

No.	Entidad Federativa	Investigadores (SNI) 2005*	Total Trabajos	Total Citas	% (SNI) 2005	% Trabajos	% Citas
1	Aguascalientes	71	184	707	0.6	0.23	0.8
2	BC	344	2633	19847	2.89	3.31	5.5
3	BCS	160	1688	9129	1.34	2.13	0.8
4	Campeche	44	158	962	0.37	0.2	0.0
5	Coahuila	162	810	3690	1.36	1.02	2.5
6	Colima	85	341	1820	0.71	0.43	0.8
7	Chiapas	93	651	6149	0.78	0.82	0.7
8	Chihuahua	123	517	2563	1.03	0.65	2.0
9	DF	5376	51569	379089	45.11	64.92	26.8
10	Durango	51	254	2492	0.43	0.32	0.3
11	EdoMex	692	1970	9586	5.81	2.48	6.4
12	Guanajuato	352	2973	20352	2.95	3.74	4.5
13	Guerrero	27	91	564	0.23	0.11	0.3
14	Hidalgo	151	264	1417	1.27	0.33	0.8
15	Jalisco	573	2790	9277	4.81	3.51	6.9
16	Michoacán	327	1307	8197	2.74	1.65	3.3
17	Morelos	679	5373	54263	5.7	6.76	1.7
18	Nayarit	14	33	113	0.12	0.04	0.3
19	NL	387	2332	13658	3.25	2.94	9.5
20	Oaxaca	94	146	624	0.79	0.18	0.8
21	Puebla	495	3918	24627	4.15	4.93	6.7
22	Querétaro	255	1340	8078	2.14	1.69	2.0
23	Quintana Roo	42	375	1845	0.35	0.47	0.2
24	SLP	220	1325	10006	1.85	1.67	5.0
25	Sinaloa	123	557	3290	1.03	0.7	0.8
26	Sonora	212	1538	9911	1.78	1.94	2.0
27	Tabasco	67	142	690	0.56	0.18	0.3
28	Tamaulipas	85	322	1547	0.71	0.41	1.3
29	Tlaxcala	48	192	1638	0.4	0.24	0.7
30	Veracruz	267	1495	9103	2.24	1.88	2.0
31	Yucatán	215	1461	9969	1.8	1.84	3.3
32	Zacatecas	84	380	1938	0.7	0.48	0.7
33	EUA (San Isidro, Cal y San Diego, Cal)	0	57	559	0	0.07	0.0
	Totales	11918	89186	627700	100	100	100

Fundación Este País, 2008. México ante el reto de la economía del conocimiento. México: Fundación Este País. p.30.

3.3.13.3. Trabajos por entidad federativa

La figura 3-13 y la tabla 3-8 muestran la forma en que ha evolucionado la publicación de trabajos científicos por entidad federativa y por quinquenio. Para no alterar la presentación de los datos se optó por dejar fuera la producción científica del DF que es mucho más alta que la de los demás estados de la República Mexicana, y de esta manera hacer más equitativa la comparación de trabajos publicados por entidad federativa.

De acuerdo con la línea que corresponde al quinquenio 1980-1984 sobresalen los casos de Jalisco, Nuevo León, Puebla y Baja California con menos de 400 trabajos. Durante el segundo quinquenio la situación mejora para algunas de las entidades, por ejemplo, se levanta ligeramente el Edo. México, Guanajuato, Morelos, Sonora y Veracruz, que desde el quinquenio anterior mostraban un ligero crecimiento, mismo que se refuerza en el segundo; además de Jalisco, Nuevo León, Puebla y Baja California que se sostienen y hasta incrementan su producción. No hay que perder de vista que en los años 80 se generó en México una de las crisis económicas más fuertes, lo que sin duda influyó en el desarrollo de la ciencia. Sin embargo, por los crecimientos que se observan entre 1985-1989, la creación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) ayudó a evitar un poco la caída de la producción científica del país durante esta época.

El tercer quinquenio, que abarca los años de 1990-1994, periodo que para muchos mexicanos fue una época de mejora económica, sus efectos se ven reflejados en los incrementos de trabajos publicados en las entidades federativas. Morelos es el ejemplo más sobresaliente, pues se convierte en la primera entidad federativa que logra rebasar el nivel de 500 trabajos por quinquenio. Esto la coloca como el estado del país con mayor porcentaje de producción 5.3%, después del DF y por encima de Jalisco (2.2%), Puebla (3.8%), Nuevo León (2.6%) y Baja California 3.2%). Por su parte Guanajuato nuevamente elevó a 2.9% su producción científica, al igual que Sonora que también la subió a 1.0%, lo mismo que Veracruz, Yucatán y Baja California Sur.

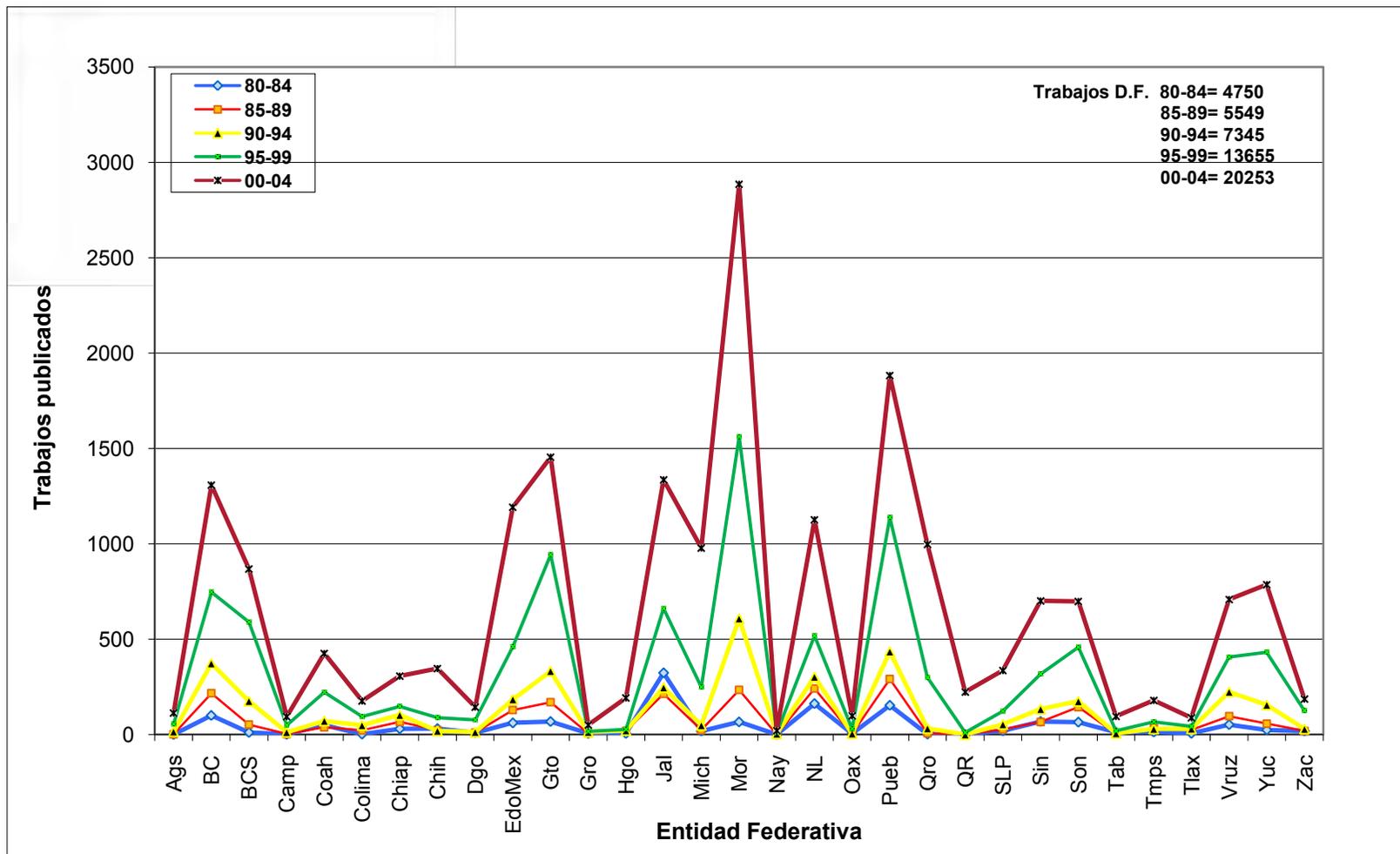


Figura 3-13. Trabajos por entidad federativa y quinquenio.

En los últimos dos quinquenios 1995-1999 y 2000-2004 se define la participación de las entidades federativas en la producción científica. En estos periodos se publicó el doble y hasta el triple de trabajos, sobre todo, Morelos que de 600 trabajos publicados en 1990-1994, en el cuarto y quinto quinquenio publicó 1500 y 2900 trabajos, equivalente a 6% y 7% respectivamente. Puebla es otro caso que también sorprende por la forma en que incrementó el número de trabajos publicados con un orden por quinquenio de 2.4%, 3.7%, 3.9% 4.8% y 4.6%. Lo mismo ocurrió con Guanajuato, Jalisco, Baja California, Baja California Sur, Edo. México, Nuevo León, Sinaloa, Sonora Veracruz y Yucatán. En algunos de los casos el desarrollo de la actividad científica es más notable, aunque no tanto como Morelos que incrementó su porcentaje de producción de 1% en el primer quinquenio a 2%, 5%, 6% 7% en los siguientes.

Puebla también muestra un desarrollo sobresaliente: se inició con el 2% en el primer quinquenio, y se incrementó a 3.7% y 3.8% entre 1985 y 1994, de 1995 a 2004 se mantiene en 4%. Un caso similar es el de Guanajuato, que inicia con 1%, 2.1%, 2.9% en los tres primeros quinquenios, y se incrementó a 3.9 y 3.6% en los últimos dos quinquenios. Otras entidades que escalaron aumentos en la producción científica mayores al 1% son: Baja California, Baja California Sur, Estado de México, Sinaloa, Sonora, Veracruz y Yucatán. Esto indica que a nivel nacional estas son las entidades que han logrado consolidarse en la investigación científica.

Los estados de Jalisco y Nuevo León, que en los primeros quinquenios estaban mejor posicionados por la publicación de trabajos de investigación con porcentajes de 5.2% y 2.6% respectivamente, en los siguientes quinquenios fueron desplazados. Estas posiciones no las volvieron a recuperar, aun cuando siguen siendo productivos. Sin embargo, se han posicionado como entidades donde existen parques industriales y la relación universidad-empresa funciona bastante bien, al igual que en Coahuila, Chihuahua, Guanajuato y Querétaro. El inconveniente es que la publicación está más orientada a la generación de patentes, congresos, tesis y en menor medida publicación de artículos originales de investigación, y para estudios cuantitativos como éste terminan mal posicionados.

Las entidades con escasa participación científica la tienen los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Guerrero, Nayarit y Quintana Roo, sobre todo los últimos que durante la década de los 80 y parte de los 90 no registran nada. El resto de las entidades se mantienen activas con porcentajes que no alcanzan el 1%, excepto los casos de Coahuila, Michoacán y Querétaro que desde el cuarto quinquenio logran arribar a 1% y 2% de participación en la publicación científica del país.

Tabla 3-8. Distribución de trabajos por quinquenio y entidad federativa.

ENTIDAD FEDERATIVA	% TRABAJOS				
	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04
Aguascalientes	0.00	0.04	0.12	0.21	0.29
BC	1.61	2.77	3.29	3.41	3.31
BCS	0.20	0.67	1.55	2.19	2.06
Campeche	0.02	0.04	0.11	0.20	0.23
Coahuila	0.80	0.49	0.63	0.93	1.07
Colima	0.03	0.28	0.42	0.40	0.43
Chiapas	0.49	0.85	0.90	0.62	0.76
Chihuahua	0.50	0.31	0.17	0.37	0.88
DF	77.31	71.14	65.02	57.46	50.30
Durango	0.18	0.10	0.12	0.32	0.37
EdoMex	0.99	1.59	1.61	1.89	2.86
Guanajuato	1.14	2.19	2.95	3.97	3.62
Guerrero	0.11	0.08	0.12	0.06	0.12
Hidalgo	0.10	0.24	0.19	0.11	0.47
Jalisco	5.26	2.73	2.22	2.80	3.33
Michoacán	0.29	0.32	0.42	1.03	2.40
Morelos	1.14	3.12	5.39	6.60	7.16
Nayarit	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05
NL	2.69	3.08	2.68	2.22	2.72
Oaxaca	0.08	0.04	0.04	0.13	0.25
Puebla	2.49	3.73	3.85	4.80	4.72
Querétaro	0.03	0.10	0.27	1.26	2.49
Quintana Roo	0.02	0.08	0.44	0.48	0.51
SLP	1.11	0.85	1.17	1.34	1.84
Sinaloa	0.33	0.33	0.47	0.51	0.83
Sonora	1.06	1.83	1.55	1.93	1.73
Tabasco	0.20	0.06	0.05	0.09	0.24
Tamaulipas	0.21	0.42	0.26	0.27	0.46
Tlaxcala	0.10	0.28	0.27	0.18	0.23
Veracruz	0.85	1.24	2.00	1.72	1.77
Yucatán	0.39	0.73	1.39	1.82	1.96
Zacatecas	0.29	0.23	0.26	0.53	0.47
EUA (San Isidro y San Diego, Cal)	0.00	0.03	0.04	0.11	0.06

En general, las entidades federativas según su evolución productiva se pueden clasificar en tres generaciones: la primera donde quedarían ubicados los estados de Jalisco, Puebla y NL que durante la década de los años 80 sostenían el 2% y 3% respectivamente de publicación. La segunda generación corresponde a las entidades de Baja California, Guanajuato y Morelos cuyos porcentajes se incrementaron a partir del tercer quinquenio (1990-1994), actualmente sostienen porcentajes mayores al 3%. La tercera clasificación corresponde a los estados de BCS, Edo. México, SLP, Sonora, Veracruz y Yucatán, que se mantienen con porcentajes entre 1% y 2%. De cualquier forma, estas entidades tienen desarrollos completamente sólidos de producción científica, en los 25 años analizados no sólo se mantienen con los porcentajes más altos, sino que los han incrementado. Entre ellos el DF, que aunque su porcentaje de publicación está en descenso, es el más alto de todas las entidades federativas del país. Otras entidades como Coahuila, Michoacán, Querétaro y Sinaloa a partir del cuarto quinquenio aceleraron el ritmo de investigación, por lo menos así lo indican sus porcentajes de desarrollo; el resto de las entidades entre las que destacan las del sureste del país están más lejos de consolidar la actividad científica, al igual que Nayarit.

El DF es la entidad federativa de mayor producción científica del país, es por ello que fue extraída de la gráfica anterior para hacer más justa la comparación entre las entidades restantes. A esto se debe que a través de la figura 3-14 se muestra por quinquenio la publicación de trabajos de corriente principal desarrollados en instituciones ubicadas en el DF. En este sentido, la línea en color verde hace referencia a los trabajos publicados por el DF en valores absolutos, como se observa, el crecimiento sobre todo de los tres últimos quinquenios es del doble de lo publicado en los dos quinquenios anteriores. Sin embargo, su participación porcentual con respecto a la producción total del país muestra que está en descenso. Esto quiere decir, que está surtiendo efecto la descentralización de la actividad científica promovida por el gobierno federal a través del CONACYT, incluidos los esfuerzos de instituciones públicas y privadas, y grupos de investigación interesados en descentralizar algunas áreas de investigación.

En conclusión, el DF sigue siendo la entidad federativa más productiva del país; sin embargo, es un hecho que en porcentajes está produciendo menos que en los primeros quinquenios de estudio. De 1980-1984 publicaba a nivel nacional el 77.3% de toda la producción científica del país; en el periodo de de 1985-1989 su producción bajó a 71%; en el primer quinquenio de los años 90 (1990-1994) nuevamente cayó en 65.2%, y de 1995-1999 se muestra con el 57.7%; para el último quinquenio (2000-2004) su producción se reduce al 50%. Es muy claro el papel que ha desarrollado el DF en la producción científica mexicana, y que difícilmente alguna de las demás entidades federativas del país lograría igualar. Pero tampoco hay que descartar las posibilidades porque entidades como Morelos, Puebla y Guanajuato están creciendo en la investigación científica, sobre todo la primera, que se ha convertido en la sede principal de desconcentración para las principales instituciones del país sobre todo la UNAM, el IPN y la Secretaría de Salud. Además es punto de atracción para investigadores líder en ciertas áreas de investigación que buscan extender, ampliar o desconcentrar las actividades del área.

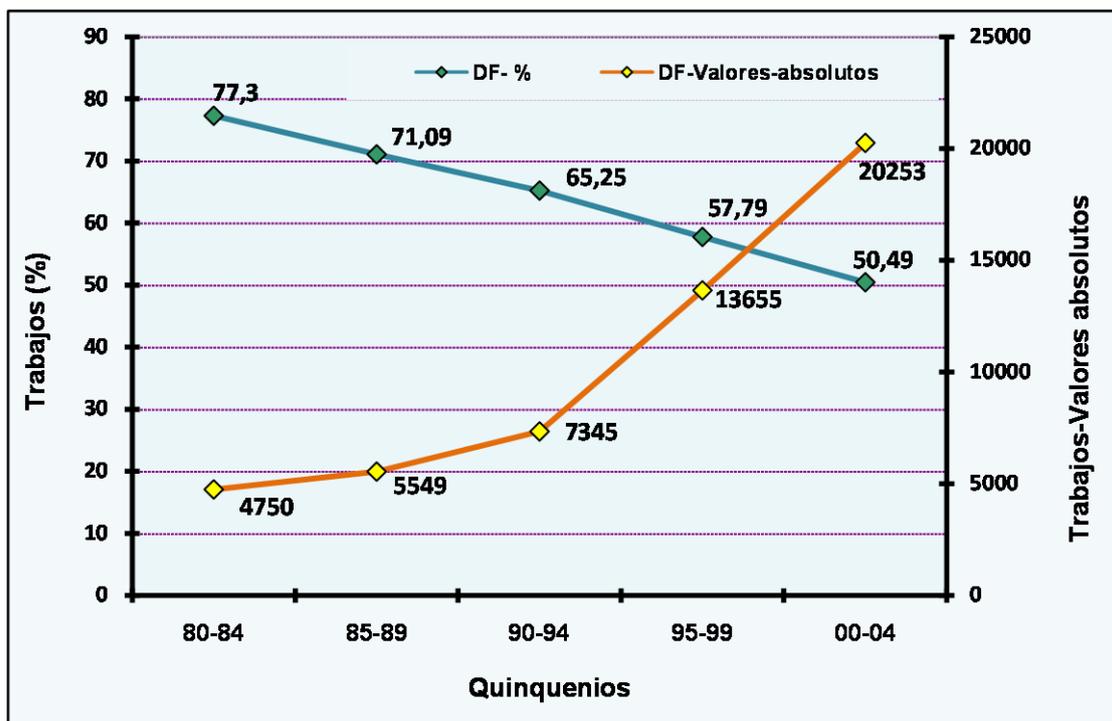


Figura 3-14. Producción científica del DF en valores absolutos y porcentajes.

Para reforzar la idea de que el DF está en proceso de descentralización, en la figura 3-15 se muestra la forma en que están evolucionando los porcentajes acumulados de trabajos publicados del DF vs. el resto de las entidades del país. Cabe mencionar que los porcentajes se obtienen de acuerdo con el total de trabajos publicados en cada uno de los quinquenios de estudio. En este sentido, para el primer quinquenio (1980-1984) el DF da a conocer el 5.3% del total de la producción registrada, por su parte el resto de las entidades federativas registran el 1.6%; para el siguiente quinquenio al porcentaje que se obtiene se le suma el promedio del quinquenio anterior, a fin de mostrar promedios acumulados según el quinquenio en cuestión. Como se observa, tanto el DF como el resto de las entidades elevan su participación porcentual en cada periodo, en ambos casos los incrementos son prácticamente del doble entre los diferentes quinquenios. Es importante destacar el papel que están realizando las entidades federativas con respecto a la publicación científica, y que se ve reflejado con el 42% de la producción total vs. el 58% que registra el DF. En otras palabras, el DF se mantiene como máximo productor de trabajos de investigación, sin embargo, las entidades federativas no están tan distantes y esto se debe particularmente a los esfuerzos que realizan las universidades estatales y los centros CONACYT instalados en la República Mexicana.

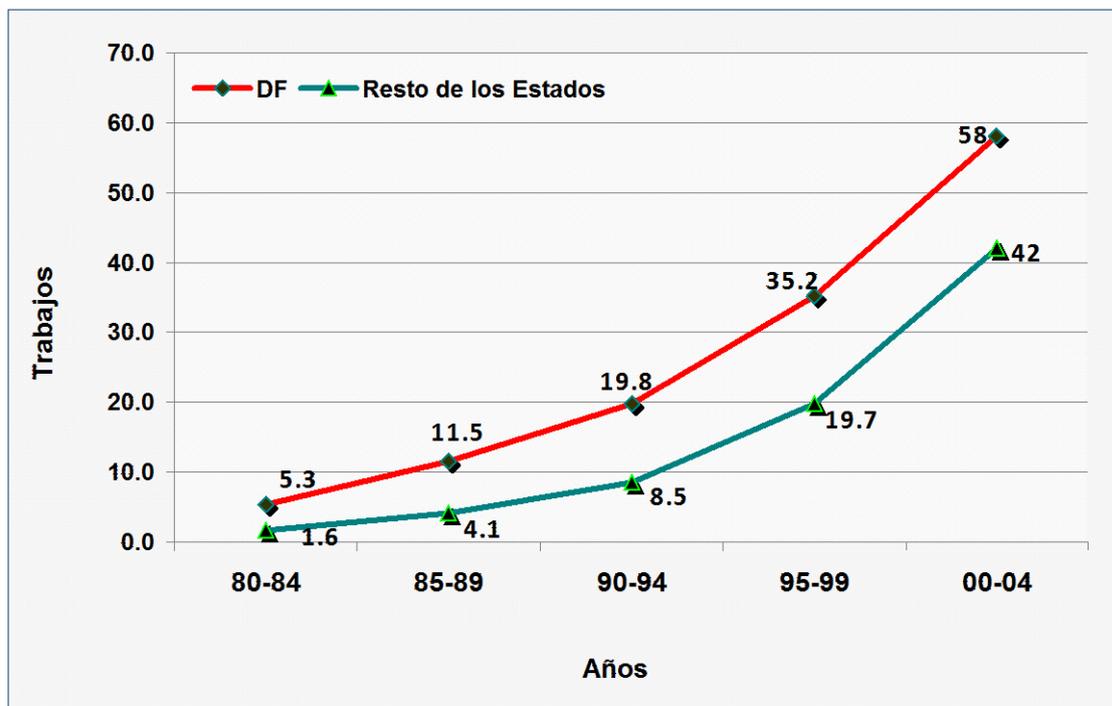


Figura 3-15. Producción del DF vs. el resto de las entidades federativas del país.

En conjunto las tablas y gráficas previamente presentadas permiten arribar a una conclusión quizás muy general, validada por los datos que presentan. El DF está disminuyendo sus porcentajes de publicación, en parte por las iniciativas de descentralización aplicadas por el gobierno federal a través del CONACYT, y por otra, gracias al esfuerzo de desconcentración que desde los años 80 están realizando en forma independiente la UNAM, el Cinvestav, el IPN, el ITESM y las instituciones de salud pública como el IMSS y la SSA mediante la creación de diversas dependencias y grupos de investigación en diferentes entidades del país, sobre todo: Baja California, Baja California Sur, Campeche, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Quintana Roo y Yucatán. De alguna manera, esto explica el aumento de la producción científica que están registrando los estados del país, donde también influye la presencia de algunos de los grupos y áreas de investigación de mayor producción en el país, por ejemplo: biología, física, química e ingenierías.

3.3.13.4. Citas por entidad federativa

La figura 3-16 muestra la distribución de citas por quinquenio y entidad federativa. Hay entidades, además del DF que desde los primeros años de estudio registran alta recuperación de citas. Sin embargo, mediante la distribución de citas por series anuales y entidad federativa es más fácil apreciar la forma en que han evolucionado.

Los porcentajes de citas de BC, Guanajuato, Jalisco, Morelos, NL y Puebla muestran crecimientos constantes. Morelos es el estado que presenta mejor recuperación de citas durante el periodo de estudio, sobre todo a partir del segundo quinquenio. Esta entidad reporta un porcentaje general de citas de 8.2%, casi triplica a Puebla y Guanajuato que registran 3.7% y 3.1%, respectivamente; y cuadruplica a Baja California, Jalisco y Nuevo León que reportan según el orden mencionado 2.8%, 2.6% y 2.1%. Otras entidades, como Baja California Sur, San Luis Potosí, Yucatán, Sonora, Edo. México,

Veracruz, Michoacán y Querétaro muestran porcentajes generales que rebasan el 1%. El resto se mantienen con porcentajes que van de 0.0% hasta 0.9%.

De acuerdo con los datos Morelos presenta los crecimientos máximos de citas 3.4%, más del doble de los que presenta Puebla y Guanajuato. De igual manera muestran crecimientos altos Baja California (0.9%), Guanajuato (1.3%), Jalisco (0.9%), Nuevo León (0.7%), Puebla (1.6%), San Luis Potosí (0.7%), Sonora (0.6%) y Yucatán (0.8%). Es importante mencionar que Jalisco es la entidad federativa que en el primer quinquenio de estudio registraba mayor recuperación de citas, posición que en el segundo quinquenio retomó Morelos, mientras Jalisco fue perdiendo esta posición, para el último quinquenio aparece en la sexta posición, desplazado también por Puebla, Guanajuato, Baja California y Baja California Sur. Actualmente Puebla es la entidad que mejor posición de citas tiene además del DF y Morelos, gran parte de estas corresponden a disciplinas científicas como: ciencias físicas, Medicina y Ciencias de la Salud, Ingenierías, Ciencias Químicas y Ciencias Biológicas.

La baja producción que logran las entidades federativas sobre todo durante los años 80, reitera la época de la más cruda crisis económica que se vivió en el México durante estos años. La oportuna creación del SNI sin duda contribuyó para sostener la producción e impacto de la época; de alguna manera estos años se convirtieron en un remanso que acumuló y generó las condiciones para el desarrollo posterior de la investigación científica en el país. Estos efectos que se hacen presentes a principios de los años 90, donde la ciencia mexicana encuentra su mejor primavera.

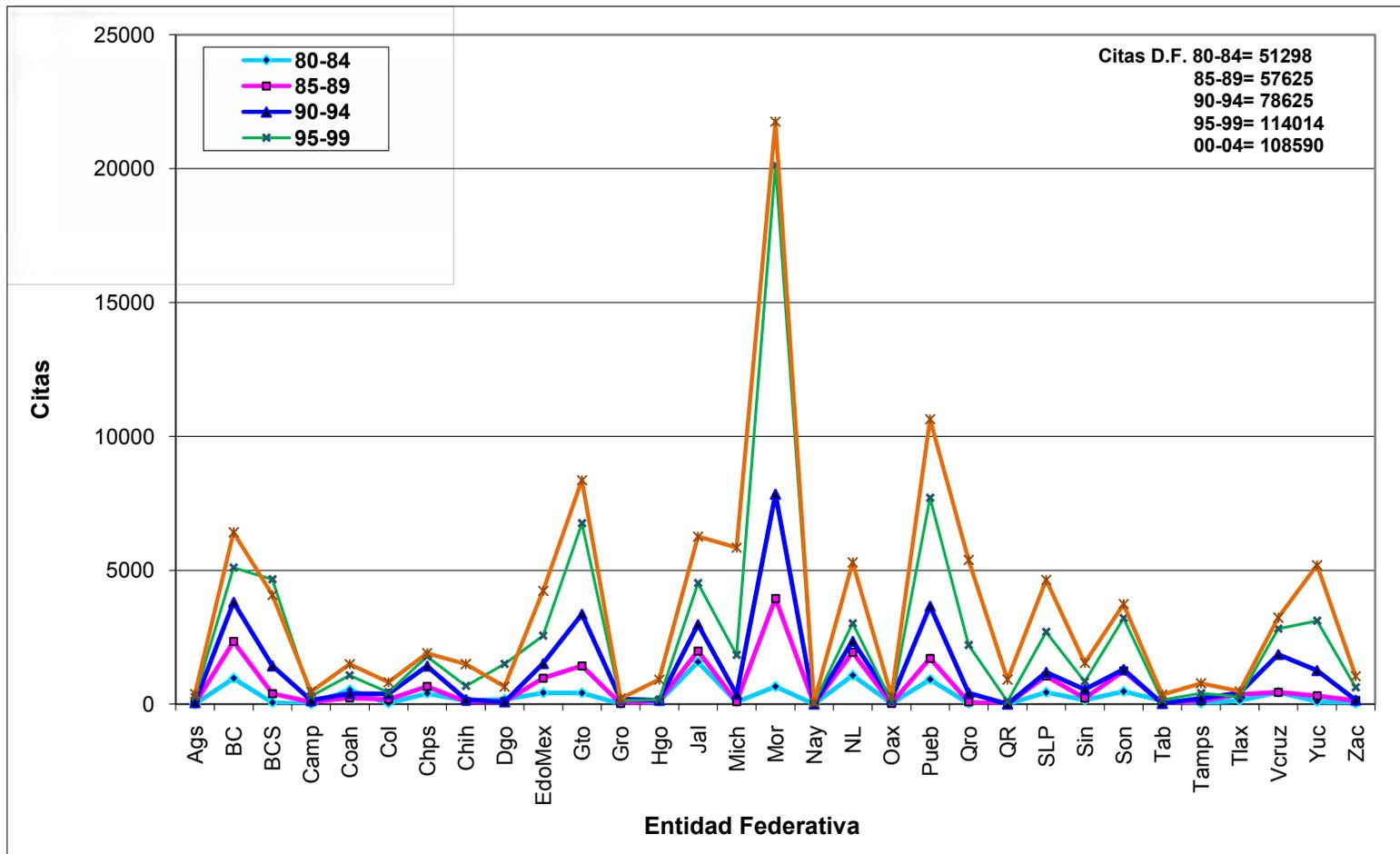


Figura 3-16. Citas quinquenales por entidad federativa.

Al igual que en casos anteriores el DF se apartó del resto de las entidades por su alta concentración de citas. Es por ello que en la figura 3-17 se presentan las citas en forma quinquenal tanto en valores absolutos como porcentuales. Como lo muestra la línea que representa a los valores absolutos, ésta sigue un crecimiento constante exponencial entre uno y otro quinquenio. De hecho entre el primero y segundo la recuperación de citas es baja comparada con los siguientes quinquenios, y aunque los crecimientos no se duplican, pero son altos. La caída que al final presenta la línea de valores absolutos es muy probable que no se levante por completo, sin embargo, todo depende de las citas que se logren recuperar sobre todo para los trabajos publicados en los últimos años del periodo de estudio.

Es importante señalar que el incremento de casi el triple de citas que se produce en el quinquenio de 1995-1999, tiene que ver con la participación de investigadores mexicanos en grupos de colaboración científica internacional, entre otras las *Big Science* donde participan los físicos del área de partículas y campos, biología molecular, biomedicina, astronomía y astrofísica, los que publicaron y recuperaron un alto número de citas. En este quinquenio como se mencionó están identificados cuatro trabajos de diferentes disciplinas: ciencias biológicas, medicina general e interna, físicas y de la tierra que recuperaron un alto número de citas (más de 500), pertenecientes al Centro de Investigación y Fijación del Nitrógeno de la UNAM, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). En este sentido, la unión de citas de estos trabajos elevó mucho la línea correspondiente, para evitar que se cuelgue demasiado la caída en el último quinquenio se requiere de la publicación de otros trabajos igualmente citados, y aunque los hay, no fueron suficientes para continuar con la tendencia de crecimiento.

La línea correspondiente a porcentajes de citas, demuestra que el DF ya no sostiene los porcentajes de citas que registraba en años anteriores. Como se observa en el primer quinquenio, obtenía el 88% de las citas, en el segundo bajó a 74%, en el tercero se reduce al 65%, en el cuarto se quedó con 59%, y

en el último únicamente logró el 51% del total de las citas que para instituciones mexicanas registra el SCI. Prácticamente, entre un quinquenio y otro se reduce en 9% su aportación.

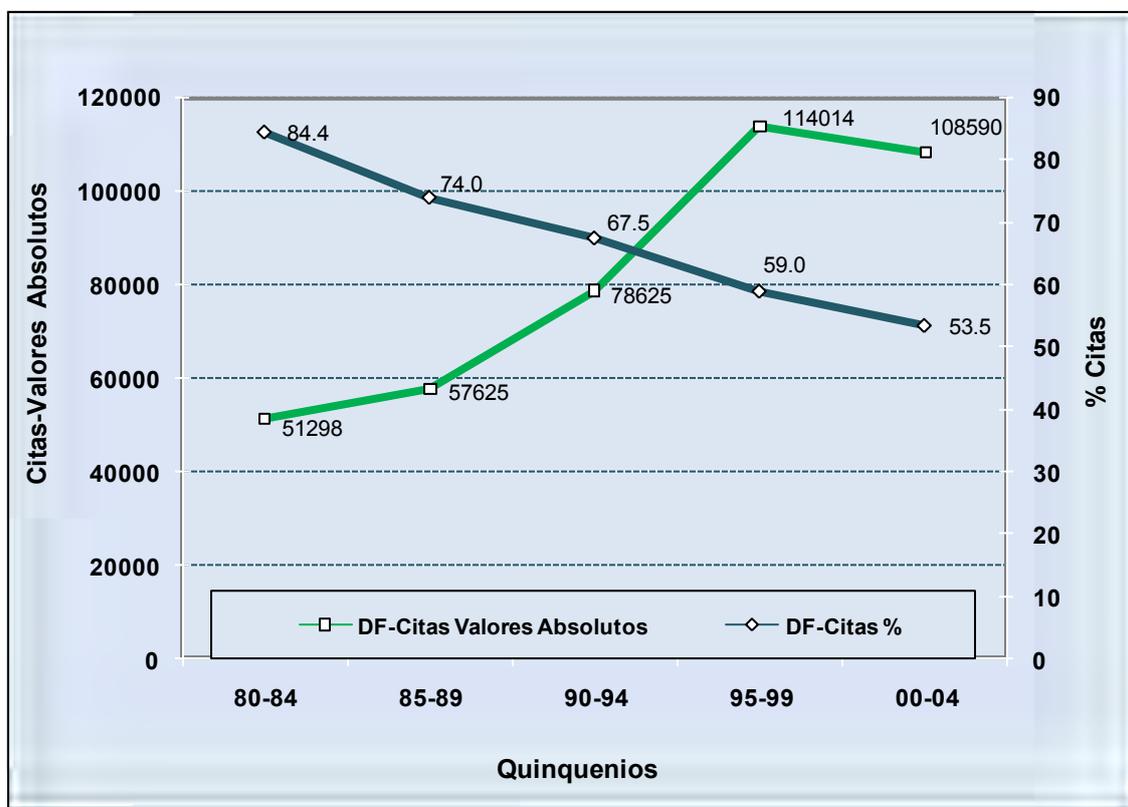


Figura 3-17. Citas del Distrito Federal a través de valores absolutos y porcentajes.

Por su parte, la figura 3-18 se refiere a las citas quinquenales del DF vs las citas del resto de las entidades federativas. Como se puede observar, el DF presenta en valores acumulados los mejores porcentajes de crecimiento que van desde 6.4% en el primer quinquenio, hasta 67.7 en el último. En cambio las entidades federativas comienzan con el 1.2% y concluyen en el quinquenio 2000-2004 con 32.3%. Los progresos que uno y otro muestran son muy importantes sobre todo, el resto de las entidades que parten en comparación con el DF de diferencias de 6 a 1, es decir, 6.4% el DF y 1.2% las entidades federativas. Para el segundo semestre las desigualdades no disminuyen por el contrario se amplían de 13 a 3. A partir del tercer quinquenio las distancias se acortan al doble de lo que reportan los quinquenios anteriores, esta situación se sostiene hasta el último quinquenio de estudio. No obstante, la separación con la que terminan una y otra línea, así como las diferencias del doble (67.7 vs

32.3) que el DF registra en comparación con el resto de los estados, es muestra de que el DF sigue concentrando el mayor número de las citas que logran los trabajos publicados por instituciones mexicanas. En otras palabras, los trabajos más citados son publicados por investigadores adscritos a instituciones del DF, es decir, se siguen desarrollando en el DF y se trata de trabajos publicados entre los años 1995 y 2000 (Anexo 3-4).

Para que las entidades del país tengan posibilidades de igualar en número de citas al DF, es necesario incrementar por un lado, la producción científica y que ésta sea de interés para la comunidad nacional, regional e internacional; o bien llevar hacia las entidades federativas a los autores más citados del país localizados actualmente en instituciones del DF.

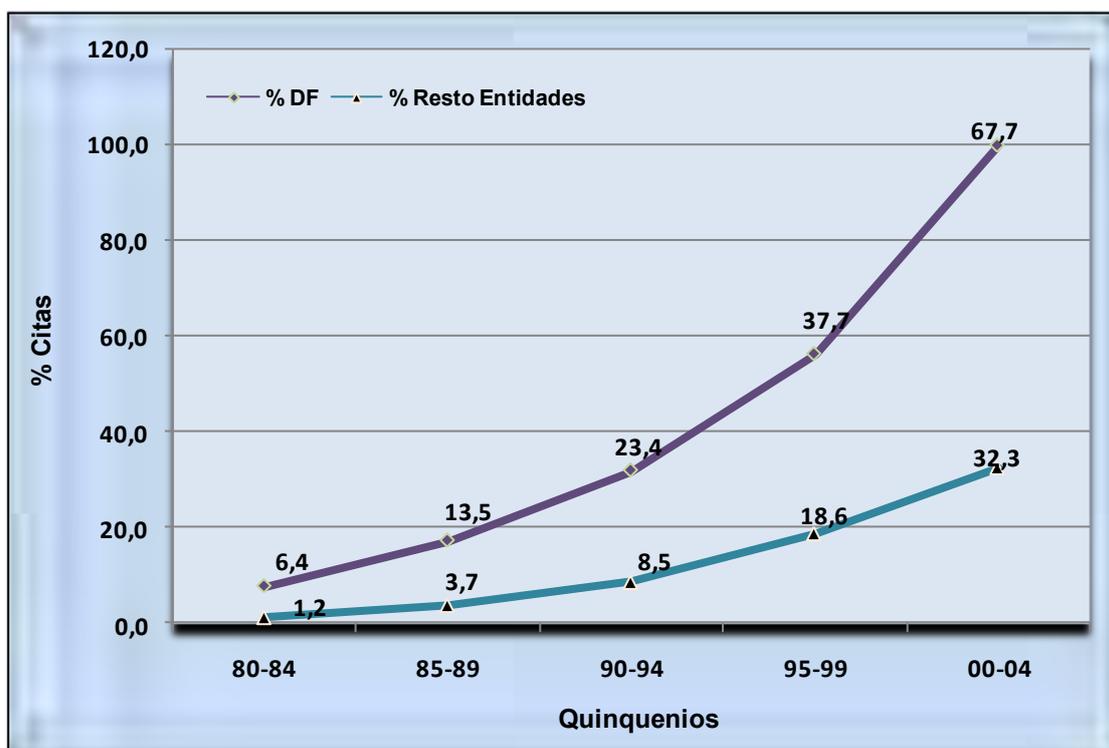


Figura 3-18. El DF vs el resto de las entidades federativas en porcentajes de citas.

3.3.14. La ciencia mexicana por disciplina científica

Las categorías temáticas que el Journal Citation Reportes (JCR) asigna a cada uno de los registros integrados en la base de datos SCIE, se separaron una a una y se clasificaron en 10 áreas del conocimiento siguiendo el esquema de

clasificación que aplica el CONACYT. Los resultados de esta clasificación son mostrados en la figura 3-19, que presenta la distribución porcentual de trabajos publicados por disciplina científica en el periodo analizado. Como se muestra las disciplinas que mejor desarrollo presentan son: medicina y ciencias de la salud que registra el porcentaje más alto de trabajos publicados (30%). Las ciencias biológicas aparecen como la segunda más productiva al generar el 22% de la producción científica. Las ciencias físicas registran el 16% del total de los trabajos publicados por instituciones mexicanas; por su parte las ingenierías y ciencias químicas se mantienen con porcentajes del 13% y 8% respectivamente.

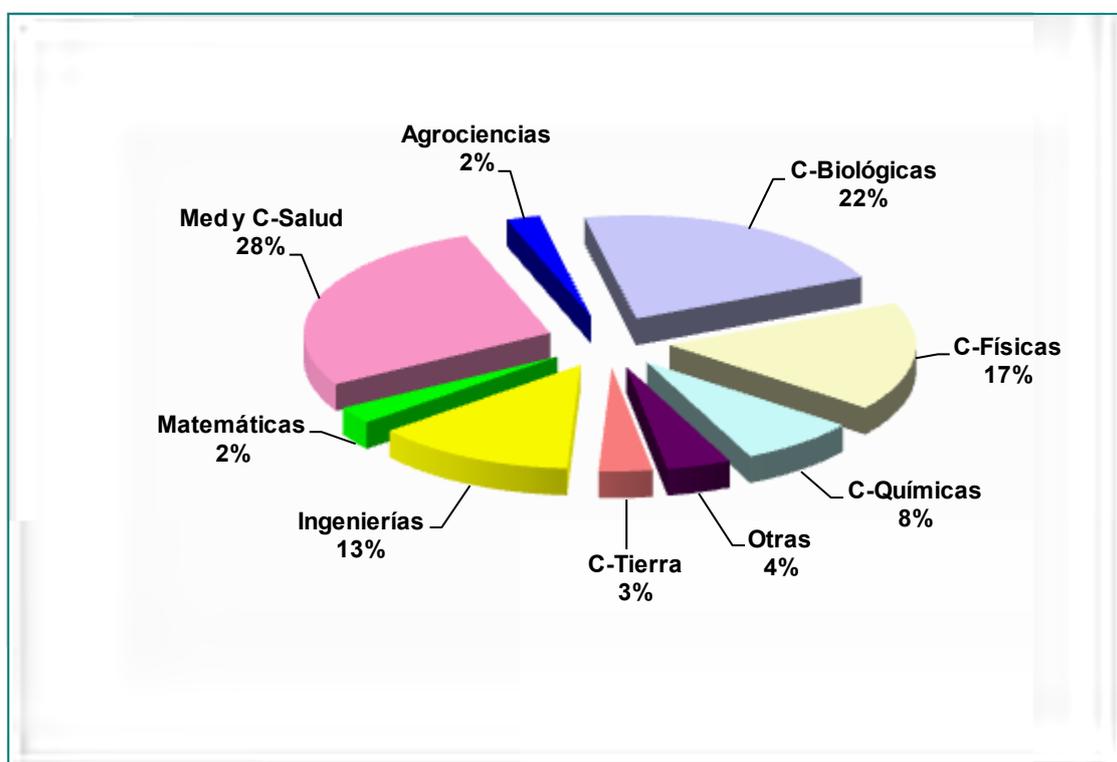


Figura 3-19. Distribución de la ciencia mexicana por disciplina científica.

El resto de las disciplinas, como se observa, también tienen aportaciones muy significativas sobre todo las ciencias sociales y ciencias del comportamiento que en conjunto con las humanidades dieron origen a la disciplina *Otras*, y en conjunto logran el 4% de las publicaciones registradas en el SCIE. Es conveniente aclarar que se reportan trabajos de estas disciplinas quizás porque los temas de investigación que abordan tienen que ver con aspectos que se

relacionan con las ciencias duras e ingenierías. Por último, ciencias de la tierra registran el 3% del total de la producción científica total, y las demás disciplinas únicamente proporcionan el 2%.

A través de la figura 3-20 se observa el progreso de las disciplinas científicas por quinquenio. De acuerdo con los valores porcentuales que muestran se puede advertir que algunas disciplinas pierden porcentajes de producción en el transcurso de los periodos analizados; mientras que otras lo ganan, y varias más se mantienen con el mismo porcentaje que registran desde el primero hasta el último quinquenio. El ejemplo más notable compete a medicina y ciencias de la salud, que se distingue por ser la disciplina de mayor aportación científica, en el primer quinquenio registra casi la mitad de la producción total del país (46%). Sin embargo, no pudo sostener estos crecimientos porque en el quinquenio (1985-1989) se reducen sus aportaciones al (34%), sus valores se continúan disminuyendo en los próximos quinquenios y finalmente concluye el último quinquenio con solamente el 28%, lo que quiere decir que perdió un 18% de las contribuciones que registraba a la ciencia nacional. El caso contrario lo representan las ingenierías que empiezan con el 8% del total de la producción en el quinquenio (80-84), en los siguientes cinco años de estudio se incrementaron al 10%, este valor lo conservan en quinquenio siguiente (90-94). Sin embargo, en los últimos dos quinquenios ascendió a 13% y 15% respectivamente. Otro caso que aunque no es tan significativo corresponde a las ciencias físicas que parten de aportaciones de producción científica de 14% en el quinquenio (80-84), en los dos siguientes se incrementó a 16% y 18%, no obstante estos avances termina registrando el 15% en el último quinquenio (00-04). Ciencias biológicas y químicas muestran casos parecidos, ambas disciplinas parten de crecimientos en la producción, no obstante, concluyen con decrementos en los porcentajes, sobre todo las ciencias químicas, ya que las biológicas sí sostienen sus porcentajes de crecimiento en los últimos dos quinquenios. El resto de las disciplinas prácticamente no presentan grandes cambios se sostienen con porcentajes similares durante los distintos quinquenios. Sale un poco del esquema las disciplinas consideradas como *otras*, puesto que en los dos últimos quinquenios incrementan la publicación científica.

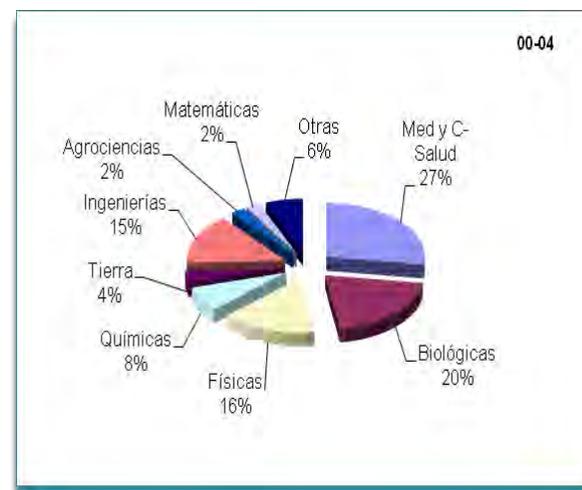
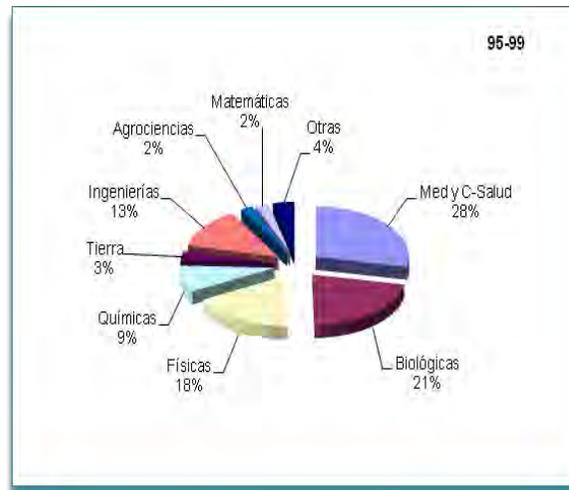
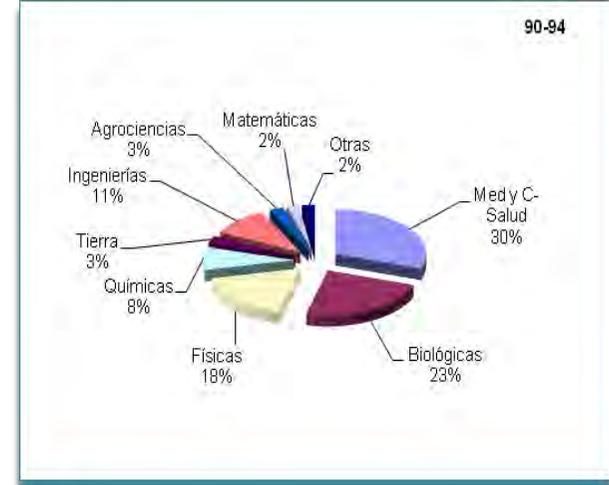
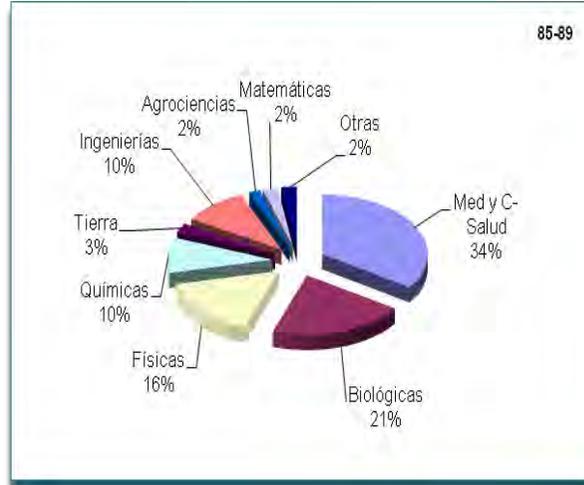
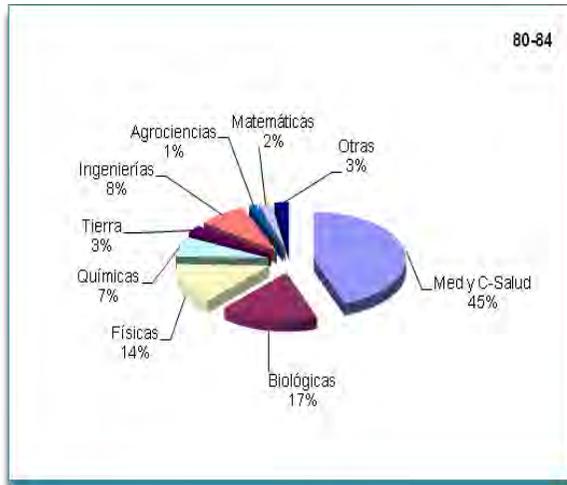


Figura 3-20. Disciplinas científicas por quinquenio.

La figura 3-21 muestra la evolución de las disciplinas científicas por periodos anuales. Para una mejor interpretación de los cambios ocurridos en el desarrollo de las mismas, la gráfica se llevó a escala logarítmica con la asignación de líneas de tendencia de tipo exponencial; lo que permite inferir que todas las disciplinas registran tasas de crecimiento similar tal como se muestra en la tabla 3-9. Lo anterior, se interpreta mediante la siguiente ecuación.

$$N=N_0 10^{kt}$$

Donde N es el número de trabajos publicados en un año, N_0 es el número inicial de trabajos publicados, k es la tasa de producción que definiremos posteriormente y, t es el tiempo en años. Esta ecuación puede ser transformada en:

$$\text{Log}(N/N_0)=kt$$

Donde \log indica el logaritmo base 10. En la gráfica se muestra el ajuste a los datos, la pendiente de las rectas se asocia a la tasa de producción, es decir k es la razón de aumento del logaritmo entre la producción inicial y la correspondiente al tiempo t , mientras que el valor N_0 se obtiene de la ordenada al origen de estas rectas. Los ajustes arrojaron los valores de la cantidad inicial de trabajos, al igual que los de la pendiente de la gráfica y los coeficientes de correlación de la regresión son mostrados en el siguiente cuadro. Es importante mencionar que la tasa de crecimiento de las disciplinas científicas es prácticamente del mismo orden, con coeficientes de 0.1. Algo similar ocurre con la regresión que se mantiene entre 0.84, 0.87, 0.96, 0.97 y 0.98. Esto indica que las disciplinas científicas presentan.

Tabla 3-9. Descripción de los valores de las disciplinas científicas.

Disciplina	N_0	K	R^2
Agrociencias	14	0.13	0.97
C-Biológicas	202	0.12	0.98
C-Físicas	164	0.11	0.97
C-Químicas	84	0.11	0.87
Otras	19	0.14	0.83
C-Tierra	27	0.12	0.91
Ingenierías	85	0.13	0.96
Matemáticas	23	0.11	0.93
Med & C-Salud	498	0.08	0.87

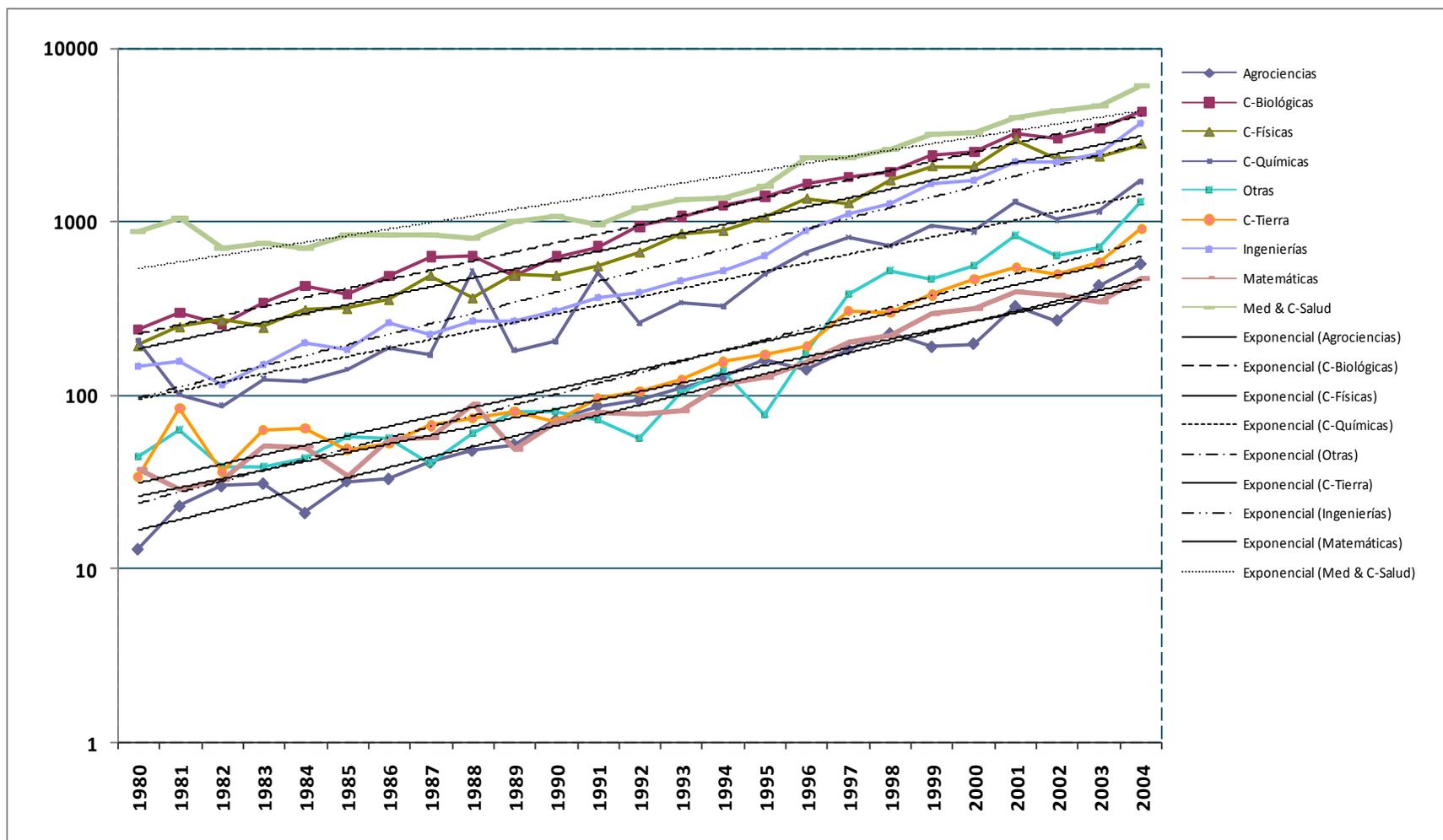


Figura 3-21. Dinámica de crecimiento de las disciplinas científicas por serie anual.

En general, esto demuestra que la ciencia mexicana se mantiene con crecimientos constantes, sobre todo como se ha mencionado, a partir de los años 90.

Con el anexo 3-3 se pretende demostrar que la actividad científica en el país se está retomando con mayor fuerza a través de las diferentes entidades federativas, y que en varios casos no es únicamente por el esfuerzo que realizan los organismos responsables de apoyar el desarrollo científico y tecnológico a nivel nacional, o por la descentralización que desde hace varios años se está aplicando; sino también por iniciativas que surgen de las mismas instituciones tanto de educación superior como de centros de investigación del país, específicamente de la UNAM, IPN, Cinvestav y SSA; así como de los grupos de investigación con planes de extender sus áreas de trabajo hacia regiones específicas de la República Mexicana.

El anexo está dividido en seis columnas: la primera, lista a las entidades federativas del país en orden alfabético. La segunda presenta a las nueve disciplinas científicas o áreas del conocimiento conforme a la clasificación que sigue el CONACYT, ordenadas en forma descendente según el número de trabajos publicados. Las siguientes tres columnas se refieren a los trabajos y citas por década, 80's, 90's y primera parte del 2000. Por último aparecen las columnas que presentan el total de trabajos y citas por disciplina resultado de la suma de las tres décadas analizadas.

Este análisis por disciplinas, décadas y entidad federativa, evidencia que son 15 las entidades en el país que no registran producción científica durante la década de los 80 entre ellas: Aguascalientes, Campeche, Colima, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas y Tlaxcala. Además la escasa producción que dan a conocer está orientada al desarrollo particularmente de medicina y ciencias de la salud, ciencias biológicas, de la tierra, agrociencias y ciencias físicas. Las otras 16 entidades restantes registran producción en las tres décadas analizadas y cubren todas las disciplinas científicas, aunque en menor medida

las humanidades y ciencias sociales consideradas en este estudio como *otras* a partir de la fusión de ambas disciplinas.

Por otro lado, la década de los años 80 presenta un patrón de publicación que es dominado particularmente por ciencias biológicas, químicas, físicas, ingenierías, medicina y ciencias de la salud, sus porcentajes de producción son del orden de 18.1%, 16.5%, 9.5%, 8.9% y 37.3% respectivamente; obtenidos de dividir y multiplicar por 100 el total de trabajos y citas de cada disciplina, entre el total general de la producción e impacto científico de cada década. Lo anterior demuestra que estas áreas son las que sostienen durante los años 80 la producción científica del país, dada a conocer a través de revistas de corriente principal registrada en los principales índices internacionales entre ellos el SCIE.

En el caso de las citas, el efecto es exactamente igual al de la producción. En la década de los 90 el fenómeno se repite, las disciplinas crecen sobre todo las ciencias biológicas, físicas e ingenierías, por el contrario a las ciencias químicas y medicina y ciencias de la salud se reducen sus citas. El caso más drástico corresponde a medicina y ciencias de la salud pues disminuye en un 10% las citas.

Continuando con el análisis de las citas por disciplinas científicas, durante la década de los años 90, las ciencias físicas se mantienen con el 19.9% igual que en los 80; lo mismo sucede con las ciencias químicas que muestran en una y otra década valores de 7.6%. Las ciencias biológicas por su parte sí incrementan las citas hasta en un valor de 23.3%, tres por ciento más que en la década anterior. Lo mismo sucede con las ingenierías que también subieron de 5.6% a 8.4%. Los porcentajes bajos en citas los registra únicamente medicina y ciencias de la salud que de 36.2% bajó a 30.7%.

En términos generales el patrón de publicación y citas por disciplina científica sufre cambios importantes; por ejemplo, tanto las ciencias biológicas como físicas, químicas y medicina y ciencias de la salud reducen su producción porcentual. La única de las disciplinas que sostiene su posición de máxima

escaladora de producción científica en el país son las ingenierías que subieron de 8.9% en los años 80 a 11.9% en los 90 y finalmente reporta el 15.4% en el primer quinquenio de los años 2000, son crecimientos del orden de 3% y 4% entre décadas.

En el caso de las citas, las disciplinas también registran incrementos muy significativos; la situación más extraordinaria la presentan las ciencias físicas que finalmente lograron igualar y rebasar a las biológicas, 21.6% para las primeras y 21.5% las segundas. Las otras disciplinas como ciencias de la tierra y *otras*, se mantienen durante las décadas analizadas con promedios de participación muy similares tanto en trabajos como en citas. Por su parte, las agrociencias y matemáticas se distinguen por mantener una posición prácticamente sin grandes alteraciones.

Por último las disciplinas que sobresalen por su posición en los primeros lugares de acuerdo con el número de trabajos totales publicados por entidad federativa son: medicina y ciencias de la salud por estar presentes en (9) entidades del país, ciencias biológicas (11), físicas (6), ingenierías (2), químicas (1) y agrociencias (1). En general, todas las disciplinas están presentes en prácticamente todas las entidades del país, y aunque no siempre aparecen en los primeros lugares por producción y citas, su posición varía según la entidad donde se localizan. En este sentido, medicina y ciencias de la salud, ciencias biológicas, físicas, químicas, de la tierra, agrociencias e ingenierías se desarrollan en 31 entidades; su posición en cada una de ellas es muy variada y en algunos casos únicamente cuenta su presencia porque tienen uno, dos y hasta tres trabajos publicados. Matemáticas por lo que se observa, es la única disciplina que se investiga en menos entidades (25), al igual que *otras* que se desarrolla en (30).

3.3.15. Sectores de mayor producción científica en el país

Los trabajos publicados por instituciones del país se clasificaron en 16 diferentes sectores según el Atlas de la Ciencia Mexicana (2009). Aunque se tomó como guía esta herramienta, también se consideró necesario representar otros sectores no incluidos, como el energético, y por la alta publicación de

trabajos de instituciones como INIFAP, ColMex y ColPos se optó por dejarlos como sectores independientes. En este sentido, por medio de la figura 3-22 se exponen los principales sectores productivos del país, entre los que resaltan por sus elevados porcentajes la UNAM, salud y las universidades estatales con 29, 20 y 16%, respectivamente.

Con el 8% están los sectores Cinvestav y Centros CONACYT; la UAM se mantiene con un 5%, y el sector privado el 4%. Por su parte el sector energético al igual que el IPN registra el 3% de producción total que el SCIE reconoce para México. El 2% de la participación corresponde al sector tecnológico, y con el 1% están los sectores Cimmyt y *Otros*, éste último agrupa a los trabajos que con cierta frecuencia aparecen en forma individual sin ajustarse a ninguno de los sectores ya establecidos. A pesar de que podrían dar lugar a nuevos sectores, por la escasa producción que presentan se considera no conveniente abrir un espacio independiente. Por último, y como lo muestra la misma figura 3-22, con menos del 1% aparecen el resto de los sectores entre ellos: agropecuario, INIFAP, ColPos y ColMex.

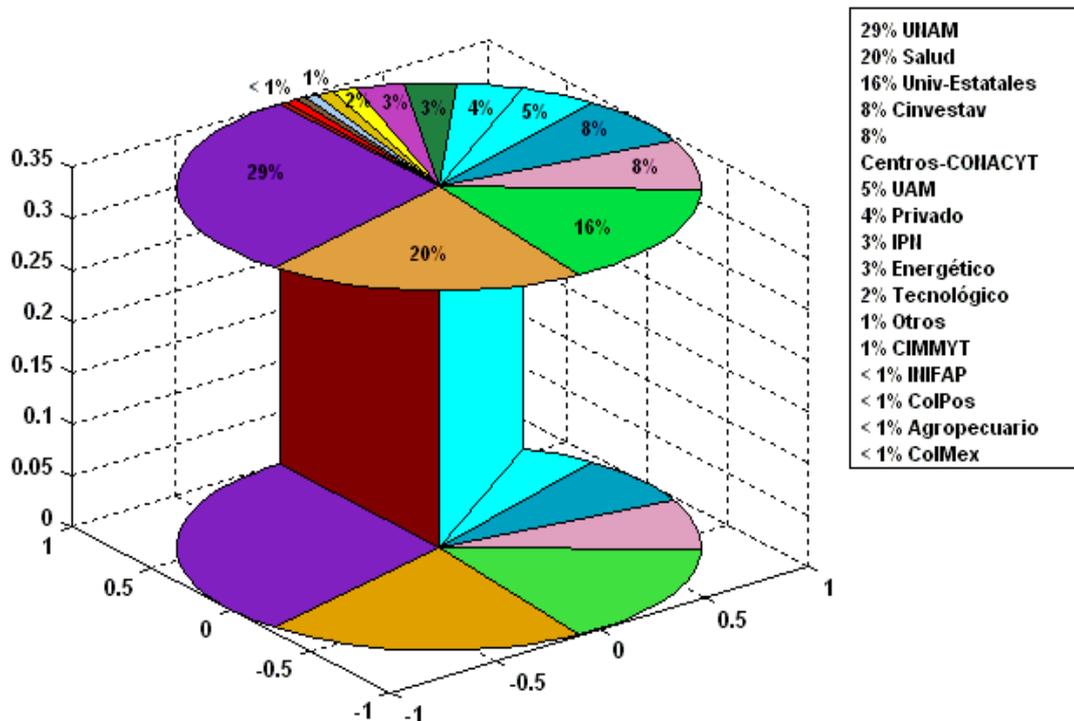


Figura 3-22. Sectores de mayor producción científica en el país.

La distribución de citas por sectores productivos se presenta en la figura 3-23. Como se indica, los sectores UNAM, Salud y Cinvestav tienen las tajadas más grandes del pastel con valores de 39%, 21% y 11%, respectivamente, del total de las citas acumuladas en el periodo de 1980-2008, para trabajos publicados entre 1980-2004. Un 6% de la aportación es para el sector Centros CONACYT, en tanto que los sectores Univ-Estatales y la UAM registran el 5%. Con el 3% del total de citas logradas por trabajos publicados por instituciones mexicanas se encuentra el sector energético y privado, mientras que el 2% le corresponde al IPN. Los sectores CIMMYT, Tecnológico y *Otros* obtienen el 1%; y finalmente el sector agropecuario, el Colegio de Posgraduado (ColPos), INIFAP y COLMEX a través de sus publicaciones científicas reportan menos del 1% de las citas. La situación de los últimos sectores es completamente normal, es decir, son aportaciones muy bajas, pero también se trata de sectores que apenas empiezan a posicionarse en el desarrollo de la ciencia mexicana; posiblemente en los próximos años aumenten la publicación de trabajos y quizás recuperen un mayor número de citas.

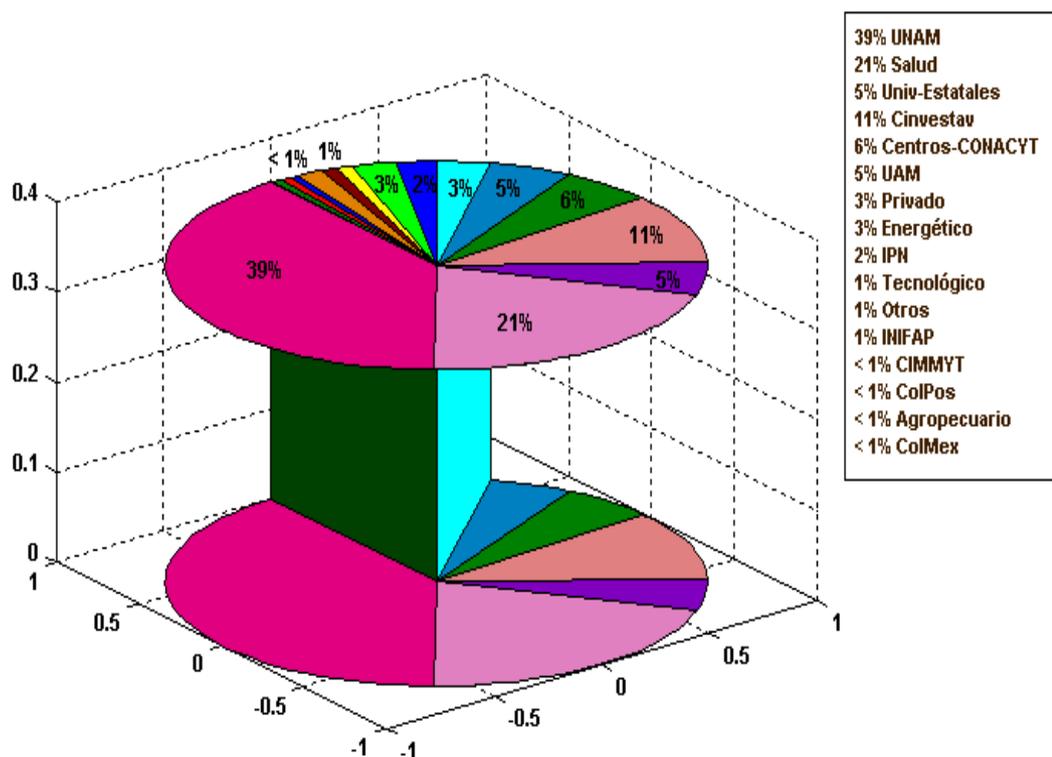


Figura 3-23. Citas por sectores de producción en México.

La figura 3-24 registra el desarrollo de los sectores de mayor producción científica en el país a través de series anuales de tiempo. Para una mejor apreciación de la continuidad de las líneas se dividieron los sectores en dos grupos, los más y los menos productivos dando lugar a dos gráficos para cada caso.

La primera gráfica dentro de la figura 3-24, muestra a los sectores UNAM, salud, universidades estatales, Cinvestav, IPN, Sep-CONACYT, energético, privado y UAM. En términos muy generales, esta gráfica nos permite apreciar dos situaciones: una que los despuntes para gran parte de los sectores ocurre a partir de 1992, 1993; excepto para la UNAM, universidades estatales, Cinvestav y salud, sobre todo UNAM y salud que desde 1980 dan muestra de altos niveles de publicación científica. Dos, no ha sido siempre el mismo esquema de evolución de los sectores. En los primeros años de la década de los 80 el sector salud rebasó a la UNAM, aunque en los siguientes años la UNAM definió su postura como máximo sector de producción del país.

Por otro lado, el sector salud y universidades estatales parecen disputarse la posición, pues desde 1993 se produce una aproximación entre estos dos sectores; finalmente, en 1998 se resuelve el problema pues las universidades estatales terminan por posicionarse por encima del sector salud y así concluyen hasta 2004. Una situación similar se presenta entre Cinvestav y los centros CONACYT, donde se advierte que hay más disputada aunque al final se imponen los centros CONACYT. El resto de los sectores también confirman posiciones pero quedan muy retirados de los demás. Pues como se ve, la diferencia en trabajos publicados con respecto a los sectores más cercanos Cinvestav y Centros CONACYT es de casi 500 trabajos, en comparación con el sector salud y las universidades estatales es prácticamente el triple de la producción, y con la UNAM se quintuplica. Sin embargo, cada uno con sus propios esfuerzos y recursos ha logrado mantener un ritmo de publicación adecuado.

La gráfica dos integra a los siguientes sectores: Otros, Cimmyt, INIFAP, Agropecuario, tecnológico, ColPos y ColMex, que registran durante los años 80

y parte de los 90 entre 40 y 45 trabajos por año, con casos excepcionales como el de 1985 donde Cimmyt publicó 80 trabajos; sin embargo, al siguiente año baja nuevamente a los promedios que originalmente venía publicando. Una situación semejante la muestra el sector agropecuario en 1993. Es prácticamente a partir de la segunda mitad de la década de los años 90 cuando gran parte de los sectores levanta su producción científica, sobre todo el tecnológico, otros y ColPos que concluyen el periodo de estudio con 350, 180 y 110 trabajos, respectivamente. El impulso a la investigación en estos sectores, al igual que los presentados por Cimmyt, agropecuario e INIFAP que también muestran altibajos en la producción antes y después de 1995, se debe a que en esos años en México se dio un gran impulso a la investigación aplicada en alimentos, sobre todo, después de aprobarse la producción por biotecnología y desarrollo de transgénicos, que además aprobó la creación de distintas instituciones dedicadas a la mejora de la industria alimentaria, entre otras Cinvestav-Irapuato, INIFAP, Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad Agraria Antonio Narro, y varios centros CONACYT como CIATEJ. Quizás esto explica el caso que presenta el sector tecnológico que después de 1987 aceleró el ritmo en el número de publicaciones; continúa los siguientes años con altibajos, y de 2001 en adelante se mantiene. Los demás sectores aunque tienen participación, no es tan extraordinaria su aportación como la de los otros. Lo importante es que ya tienen un espacio en la producción científica mexicana de primer nivel, lo que falta es encontrar el aliciente que los impulse a generar un mayor número de trabajos de investigación, que a su vez den lugar a la acumulación de un número mayor de citas, que les ayude a colocarse en los próximos años en mejores posiciones.

De alguna manera estos escalamientos y arrebatos que presentan algunos de los sectores productivos del país sobre todo los mostrados por las universidades estatales y centros CONACYT tienen que ver con los distintos planes y programas que en el ámbito federal se han desarrollado y aplicada con el fin de mejorar los esquemas de operación y producción de las instituciones de educación media superior y superior en México.

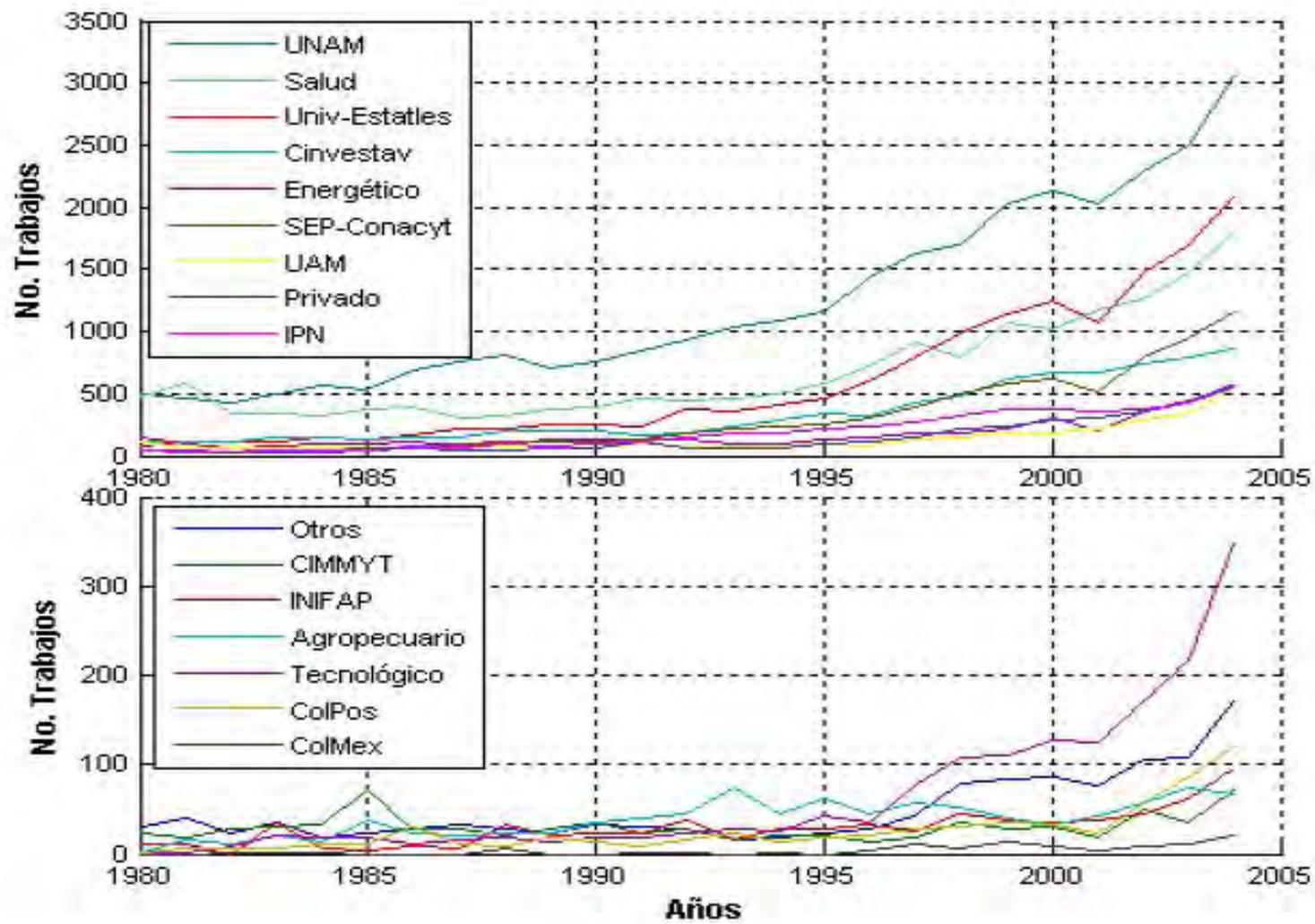


Figura 3-24. Sectores de mayor producción por serie anual.

3.3.16. La ciencia mexicana por instituciones

La desagregación de las direcciones incluidas en cada uno de registros extraídos del SCIE, permitió la identificación de un total 5 621 direcciones o instituciones. De estas 1 341 son mexicanas y 4 280 foráneas o extranjeras. En promedio cada año se incorporan a la investigación del país 53 nuevas direcciones o instituciones, y se establece colaboración científica institucional internacional con 171 extranjeras.

En la figura 3-25 se muestra por serie anual el desarrollo e incorporación de instituciones tanto mexicanas como extranjeras a la colaboración científica. En el caso de las instituciones nacionales durante todo el periodo de los años 80 el número de instituciones se mantuvo con 130 mínimo y 154 máximo por año de estudio; representado por un porcentaje que no rebasa el 2% anual.

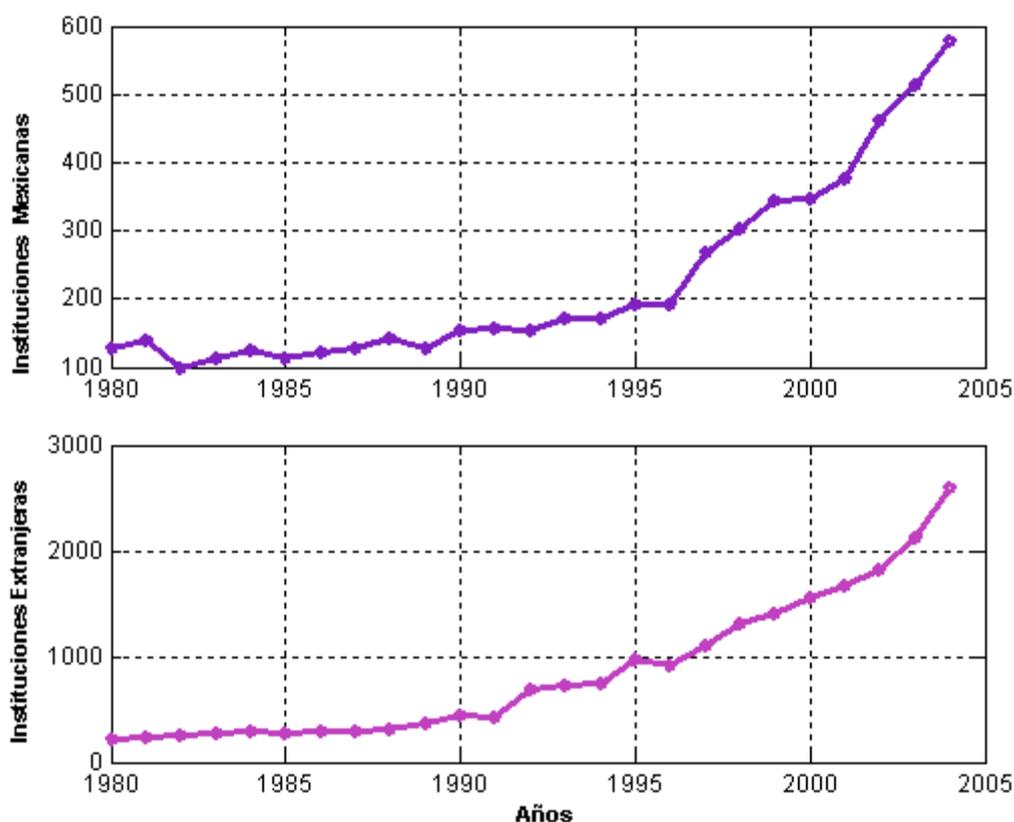


Figura 3-25. Crecimiento anual de instituciones mexicanas y extranjeras.

A partir de los años 90 el porcentaje de instituciones subió ligeramente alcanzó las 200 instituciones, a pesar de que hay algunos años de estabilización. En la segunda mitad del mismo periodo las instituciones mexicanas se incrementaron al doble de las registradas en el primer periodo de los años 90. Entre 1999 y 2000 se vuelve a presentar otra estabilización, pero inmediatamente en 2001 y hasta 2004 las instituciones se incrementan nuevamente.

La línea correspondiente a las instituciones extranjeras, se refiere a aquellas que anualmente se incorporan a través de la colaboración científica con alguna institución del país. En este sentido, como se percibe en la gráfica, de 1980 a 1988 las instituciones no crecen se mantienen en un promedio de 250; en 1989 y 1990 se incrementa el número y casi suman las 500 instituciones. No obstante que se muestra una estabilización, a partir de 1992 nuevamente se incrementan aunque otra vez y se estabiliza con 750 instituciones que mantienen colaboran con México. Después de 1995 las instituciones vuelven a crecer y esta situación se conserva hasta el último año de estudio. En este periodo las instituciones no sólo se duplican de 1 000 a 2000, sino que logran incrementarse un poco más alcanzando a incorporarse hasta 3 700 instituciones que publican en coautoría con las instituciones mexicanas.

Es muy probable que los crecimientos que se observa en las instituciones mexicanas a partir del año de 1997, tengan que ver con el incremento de recursos humanos, producto tal vez del aumento en el número de becas otorgadas, el mejoramiento de los programas de posgrado y sobre todo por el proceso de descentralización de la ciencia que en estos años registra sus mejores momentos.

Por otro lado, durante los años 90 se advierte un crecimiento en el número de clínicas y hospitales públicos y privados que a nivel nacional se integran a través de las diferentes entidades del país. Esto indica que los problemas de salud son básicos en nuestro país, y posiblemente la falta de suficientes instituciones de salud justifica la creación de hospitales, clínicas y laboratorios sobre todo privados. Aunque también se refleja el esfuerzo a nivel nacional de

instalar clínicas, centros de salud y hospitales en los estados de la República Mexicana como parte de los programas de salud a nivel federal.

A lo anterior hay que agregar los progresos de las universidades públicas y privadas que durante el periodo de los años 90 se extendieron no sólo el DF sino en todo el país, y que han incluido los espacios e infraestructuras para la dedicarse a la investigación científica, por ejemplo: ITESM, UDLA, Universidad Panamericana, Universidad la Salle, entre otras.

El crecimiento de instituciones extranjeras o foráneas identificado a partir de los años 90, está más relacionado con la integración de los investigadores, y grupos de investigación a la colaboración científica internacional, incluidos los acercamientos por métodos, por equipo, por relación universidad-industria-gobierno, así como la colaboración inter-institucional o de gran escala también conocida como *Big Science* (Sonnenwald, 2007), donde las estructuras para su desarrollo se localizan en sitios únicos y son de las más caras para su desarrollo, donde están participando algunos investigadores mexicanos, entre ellos físicos del área de partículas y campos, de astro partículas, biología genética y molecular y biomedicina. En estas participaciones se suman los esfuerzos de 300 y 400 autores, que provienen de 20 y más instituciones, así como de diferentes países.

La tabla 3-10 hace referencia a la aportación quinquenal de instituciones por entidad federativa en términos de porcentajes. No es una sorpresa que el DF aparezca como la entidad con el más alto porcentaje de instituciones. Lo sorprendente es que en 25 años solamente ha disminuido un 10% del total de instituciones nacionales. Entre 1990-1994 y 1995-1999 se sostuvo con 50% y 56% de las instituciones, finalmente concluye con un porcentaje total de 58%. Entre las instituciones identificadas con mayor incremento están las correspondientes a clínicas y hospitales públicos y privados. Los primeros dependientes particularmente de los sectores salud del país como la SSA, el IMSS y el ISSSTE.

Entre otras entidades federativas que integran altos porcentajes de instituciones por quinquenio son Jalisco y NL consideradas entidades con cierta tradición científica. La primera desde los años 80 se mantiene con 7% de instituciones, con ligeras variaciones entre los años de 1990-1999, de hecho termina con un promedio total de 7%. La segunda registra el porcentaje de instituciones más alto después del D.F; durante los años 80 se sostiene entre un 10% y 8% por quinquenio, pero termina con el 7.8%. Puebla, Sonora y Guanajuato también reportan el 5.7%, 7.1% y 5.2%, respectivamente de instituciones en el primer quinquenio de estudio (1980-1984). Sin embargo, al igual que Jalisco y Nuevo León en los siguientes quinquenios disminuyen su porcentaje y terminan con totales de 4.2%, 4.9% y 4.4% respectivamente. Tanto el DF como Jalisco, Nuevo León, Puebla, Sonora y Guanajuato son los casos de entidades federativas que vienen de más a menos en su contribución porcentual.

El grupo de entidades clasificadas como emergentes porque tienen menos años integradas a la investigación, a partir de 1985 comenzó a levantar su producción científica, destacan: Baja California, Baja California Sur, Edo. México, Morelos, Querétaro, Sinaloa, San Luis Potosí, Veracruz y Yucatán que en términos de porcentajes de instituciones han ido de menos a más, y en algunas ocasiones se mantienen con la misma aportación porcentual. Por último, el resto de las entidades consideradas periféricas por la escasa aportación que en trabajos y citas registran, muestran porcentajes relativamente altos de instituciones y que se sostienen a lo largo del periodo de estudio; sobresalen Coahuila, Chiapas y Chihuahua, éste último es el que sostiene el porcentaje más alto durante los primeros quinquenios de los años 80; al igual que Michoacán y Durango entre otros. Sin embargo, no sostienen estos porcentajes a lo largo del periodo analizado.

Tabla 3-10. Porcentaje de instituciones por entidad federativa.

Entidad Federativa	% direcciones o instituciones por quinquenio					% TOTAL
	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	
Aguascalientes	0	0.4	0.9	1.7	1.6	1.24
BC	5.2	5.5	4.3	3.9	5.1	4.75
BCS	1.0	3.1	3.4	4.8	3.8	3.61
Campeche	0.5	1.2	1.5	1.7	1.6	1.47
Coahuila	3.8	3.9	3.4	2.5	3.1	3.18
Colima	1.4	3.1	1.2	0.8	1.4	1.43
Chiapas	3.3	4.7	4.6	3.5	3.1	3.66
Chihuahua	8.1	5.1	2.8	3.3	3.0	3.80
DF	68.5	58.6	50.3	56.1	58.9	58.9
Durango	2.9	1.6	2.2	3.7	2.3	2.57
Edo Mex	4.8	4.7	5.2	6.4	8.3	6.56
Guanajuato	5.2	4.3	4.9	5.0	3.6	4.42
Guerrero	1.4	2.0	1.5	1.5	1.0	1.38
Hidalgo	0.5	2.0	1.5	1.0	1.1	1.19
Jalisco	7.6	7.0	6.8	8.7	7.5	7.65
Michoacán	4.8	2.7	3.7	3.5	3.3	3.47
Morelos	2.9	4.3	6.8	5.4	5.1	5.13
Nayarit	0.0	0.0	0.6	0.4	1.0	0.57
NL	10.0	8.6	7.4	6.8	7.9	7.84
Oaxaca	1.9	1.2	1.2	2.5	2.8	2.19
Puebla	5.7	3.5	4.0	3.9	4.5	4.28
Querétaro	0.5	2.0	2.8	3.9	4.5	3.37
Quintana Roo	0.5	1.2	2.8	1.9	1.5	1.66
SLP	1.9	2.0	1.2	1.5	2.1	1.81
Sinaloa	2.9	2.3	3.1	3.3	2.4	2.76
Sonora	7.1	6.3	4.9	4.1	4.6	4.99
Tabasco	2.4	1.6	2.2	1.5	2.0	1.90
Tamaulipas	3.8	3.1	2.2	2.3	2.4	2.57
Tlaxcala	1.0	0.8	0.9	0.8	1.0	0.90
Veracruz	4.3	5.5	7.4	5.2	3.9	4.99
Yucatán	3.3	5.1	3.1	3.1	2.8	3.23
Zacatecas	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	1.47
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00

En conclusión, y de acuerdo con los totales de porcentajes, existe una correspondencia de las entidades que presentan altos porcentajes de instituciones, con las entidades que reportan mayores porcentajes en trabajos publicados y citas acumuladas. Excepto los casos de Coahuila, Chiapas y Chihuahua que registran más del 3% de instituciones, pero en trabajos y citas están bajos.

Los incrementos y decrementos de instituciones en algunas de las entidades, tiene que ver con el proceso de descentralización que por un lado, lleva a cabo el CONACYT, y por otro, el que realizan las principales instituciones de educación superior y centros de investigación del DF entre ellos: la UNAM que ha estado distribuyendo hacia el interior de la República Mexicana varias de sus áreas de investigación, con el fin de resolver los problemas de espacio y saturación que tienen desde los años 80 en la Ciudad Universitaria. Algo similar ocurre con el Cinvestav y el IPN. Es por ello que entidades como BC, Edo. México, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Querétaro, Veracruz y Yucatán entre otros, incrementaron el número de instituciones de investigación científica. De la misma manera que ha influido la creación de los centros CONACYT y la integración de parques industriales instalados en algunos estados. También hay que mencionar el importante el papel que desarrolla la SSA, el IMSS y el ISSSTE en la instalación de clínicas y hospitales regionales. Igualmente es importante mencionar la presencia del ITESM a través de sus diversas instalaciones en prácticamente toda la República Mexicana, con mayor auge a partir de los años 2000 periodo en que se incrementa al doble su producción científica.

3.3.17. Distribución institucional nacional

A nivel nacional se identificaron en total 1 341 instituciones registradas en las direcciones de los autores que publicaron al menos un trabajo en el periodo de estudio (1980-2004). De estas 780 (58%) difundieron únicamente un solo trabajo de investigación, 227 (16%) dieron a conocer dos trabajos, un 4% publicó tres, el resto de las instituciones (22%) publicaron cuatro y hasta 30 545 trabajos, es decir, la mayor parte de los registrados por el SCIE en el periodo de estudio analizado.

Con respecto a las citas acumuladas por direcciones o instituciones el 40% no reporta ninguna cita; otro 5% de las instituciones registran al menos una cita, un 1% dos, el resto 54% reiteran la recuperación de más de tres.

La tabla 3-11 se puede determinar la participación en trabajos y citas por instituciones mexicanas. La tabla integra dos listas, la primera corresponde a las 37 instituciones mexicanas que mayor número de trabajos publican, y la segunda a las instituciones más citadas, así como los porcentajes por institución en cada uno de los casos. Como se muestra, hay siete instituciones que se corresponden en sus posiciones como las más productivas y más citadas. La institución de más alta producción y citas es la UNAM como se refiere con 30 545 trabajos y 265 828 citas, y porcentajes de 38.6% y 48.7%, respectivamente.

Por su parte la Secretaría de Salud con sus diversas dependencias ubicadas en todo el país es la segunda institución más productiva en el ámbito nacional, al publicar 10 919 (13.8%) trabajos y recibir 101 559 (18.6%) citas. En este orden de producción y citas le sigue el Cinvestav que logró dar a conocer 8 372 (10.5%) trabajos y 70 079 (12.8%) citas en los 25 analizados. El IMSS, la UAM, el IPN y la BUAP forman parte de las siete instituciones más representativas del desarrollo de la ciencia en México, por su contribución en porcentajes de publicaciones y citas.

Las instituciones restantes, excepto CICESE, CIAD, CIMAT y UAQro, conservan las mismas posiciones en ambas listas con porcentajes de participación muy similares. Entre las demás instituciones registradas destaca la presencia principalmente de las universidades públicas estatales y algunas privadas como el ITESM y la UDLA, además de los centros CONACYT y otros centros e institutos de investigación científica como el CIMMYT, IMP, el ININ y el IIE.

Tabla 3-11. Instituciones mexicanas con mayor producción e impacto científico.

No.	Instituciones Mexicanas	Trabajos	% Trabajos	No.	Instituciones Mexicanas	Citas	% Citas
1	UNAM	30545	38.6	1	UNAM	265828	48.7
2	SSA	10919	13.8	2	SSA	101559	18.6
3	CINVESTAV	8372	11.5	3	CINVESTAV	70079	12.8
4	IMSS	5236	6.6	4	IMSS	35355	6.4
5	UAM	4938	6.2	5	UAM	31527	5.7
6	IPN	3370	4.2	6	IPN	16240	2.9
7	BUAP	2036	2.5	7	BUAP	11935	2.1
8	IMP	1573	1.9	8	INAOE	10037	1.8
9	UANL	1507	1.9	9	CIMMYT	9971	1.6
10	CICESE	1379	1.7	10	CICESE	9086	1.3
11	UDG	1361	1.7	11	UANL	8921	1.3
12	INAOE	1301	1.6	12	IMP	10357	1.5
13	UASLP	1144	1.4	13	UGto	8568	1.2
14	UGto	1143	1.4	14	UASLP	8039	1.2
15	ININ	1001	1.2	15	UAEM	5624	0.8
16	UAEM	909	1.1	16	CIBNOR	5825	0.8
17	CIMMYT-Mex	900	1.1	17	INECOL	5108	0.7
18	CIBNOR	873	1.1	18	UNISON	4619	0.7
19	INECOL	818	1.0	19	UDG	4068	0.6
20	UNISON	814	1.0	20	ININ	4553	0.6
21	ITESM	783	0.9	21	ECOSUR	4735	0.7
22	UABC	676	0.8	22	ITESM	4164	0.6
23	UMSNH	666	0.8	23	INIFAP	3673	0.5
24	ECOSUR	607	0.7	24	UABC	3383	0.5
25	INIFAP	605	0.7	25	ISSSTE	3187	0.4
26	CIO	524	0.6	26	UMSNH	3107	0.4
27	IIE	460	0.5	27	CIO	3294	0.5
28	CIAD	455	0.5	28	CIAD	2979	0.4
29	UADY	405	0.5	29	UV	2160	0.3
30	UV	389	0.4	30	UADY	2209	0.3
31	UDLA	389	0.4	31	IIE	1844	0.2
32	UAQro	381	0.4	32	UAQro	2070	0.3
33	CIMAT	374	0.4	33	CIMAT	1769	0.2
34	ISSSTE	348	0.4	34	UDLA	1762	0.2
35	UAEMex	346	0.4	35	UAZ	1886	0.2
36	UAZ	344	0.4	36	UAColima	1764	0.2
37	UAColima	313	0.4	37	UAEMex	1100	0.1

La UNAM al igual que el IPN y el Cinvestav, están identificadas como las instituciones de mayor tradición científica en el país, no sólo por su largo periodo de vida activa y experiencia en la investigación científica, sino también, por el fortalecimiento de sus estructuras, la consolidación de sus diversas áreas

y disciplinas de investigación científica, y el alto número de programas de posgrado. En particular la UNAM como se muestra en la tabla 3-12, es la que mayor número de programas de posgrado integra, seguida del Cinvestav y el IPN. De alguna manera esto ha permitido la expansión de sus áreas de investigación hacia otros puntos de la República Mexicana.

Por otro lado, la apertura de las ingenierías es producto de la relación universidad-industria-estado, que de alguna manera, surgieron para apoyar a las empresas instaladas en la región o regiones cercanas. En este caso, no se trata de esfuerzos llevados a cabo por los grupos de investigación, sino más bien, la propia relación e impacto que las ingenierías tienen en gran parte de las actividades que la sociedad realiza.

El ITESM por su parte se ha establecido en todo el país a través de la apertura de instalaciones principalmente con fines de formación educativa, pero en los últimos años ha incrementado su participación en la investigación científica. La tabla 3-12 presentan las instituciones que más contribuyen a la desconcentración de la ciencia en México, así como el número de dependencias o unidades que cada una de ellas reporta activas en el periodo analizado, así como el número de entidades federativas donde tienen instaladas alguna o varias de sus dependencias, y el número de programas de posgrado que integra. De acuerdo con esta tabla el Cinvestav está estructurada en 29 dependencias y unidades de investigación distribuidas entre sus diversas sedes: DF (Zacatenco y sede sur), Irapuato, Guadalajara, Mérida, Querétaro, Saltillo, Tlaxcala, y últimamente Monterrey y Tamaulipas.

Tabla 3-12. Instituciones mexicanas con mayor número de dependencias en el país.

Instituciones	No. Dependencias y/o unidades	Por entidad federativa	No. programas de posgrado
Cinvestav	29	8	42
IPN	32	6	25
ITESM	1	19	5
IMSS	32	30	0
SSA	32	31	0
UNAM	128	18	51

El IPN está dividido en 32 dependencias instaladas en cinco entidades federativas sobre todo: DF, Morelos, BCS, Oaxaca, Tamaulipas y Puebla. El ITESM registra producción científica a través de 19 entidades federativas del país, excepto en BCS, Campeche, Colima, Chiapas, Durango, Guerrero, Nayarit, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz, pero incluye España. El IMSS al igual que la SSA son las únicas que están presentes en los 32 estados de la República Mexicana. Por último la UNAM a través de sus 128 dependencias repartidas en 18 entidades federativas del país, las únicas donde no se reportan son: BCS, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo Nayarit, NL, Oaxaca, Puebla, SLP, Tabasco y Zacatecas; porque en Tlaxcala y Yucatán se mantiene un espacio para la investigación a través de las universidades de estos estados, donde se orienta particularmente al estudio de la conducta humana y ecología marina. Esto da muestra del nivel de penetración que tiene la UNAM a través de sus distintas áreas de investigación en el ámbito nacional e internacional, pues también registra trabajos con adscripción al Centro de Ciencias en Materia Condensada, y el Instituto de Física en San Isidro California, al igual que para el Instituto de Astronomía en San Diego, California.

3.3.18. Colaboración científica nacional e internacional

En total son 4 280 las instituciones extranjeras con las que México mantiene colaboración científica, a través de 143 distintos países sobre todo de EUA, Francia, España, Alemania, Inglaterra, Italia, Canadá, Brasil y Japón, Rusia, Argentina, Holanda, Australia, India, República Popular China, Cuba, Suiza, Colombia, Bélgica, Chile, Ucrania y Polonia con porcentajes de participación que van de 27.6% a 1.0% en orden decreciente según como aparecen listados los países. La colaboración científica institucional que se tiene con estos países es a través de 60 066 trabajos de investigación. En conjunto las 37 instituciones listadas en la tabla 3-13 publican 11 925 trabajos en total, es decir, el 15.25% del global general de trabajos registrados para todas las instituciones desagregadas, así como 205 680 citas, equivalentes al 37.67% del total.

A través de la colaboración científica establecida con las instituciones de EUA se han dado a conocer 7 561 trabajos y se recuperaron 91 564 citas equivalentes al 64.5% y 77.6%, respectivamente, únicamente de los trabajos y citas de los trabajos hechos en colaboración. Con España se sostiene el 8.9% de la colaboración y se comparten entre ambos países el 0.99% de las citas; Brasil está reportando el 3.7% y 0.44% tanto en trabajos como en citas, el 14% y 11% restante se distribuye entre el resto de los países y sus respectivas dependencias, entre las que predominan los institutos, centros, universidades y laboratorios de investigación.

La UnivTexas es la institución con quien mayor colaboración institucional se tiene comparte el 1.1% de los trabajos, al igual que con el CSIC de España con quien se publica en coautoría 700 trabajos equivalentes al 0.9%. En este orden de coautoría institucional por trabajos y citas le siguen: la UnivArizona 0.7% y la UnvCalifDavis (0.6%); así como la UnivTexasA&M con la que se difunde el 0.5% de trabajos. En la lista de instituciones con mayor trabajos en coautoría también figuran la Univ la Haba, UnivCalifBerkeley, UnivHarvard, CNRS, Univ AutBarcelona, UnivMaryland, UnivIllinois, UnivWisconsin, UnivLondon, RussianAcadSci, UnivCalifLosAngeles quienes mantienen colaboraciones de 300 trabajos mínimo y 387 máximos. Las 21 instituciones restantes tienen coautoría a través de la publicación que varía entre 200 y 299 trabajos, y con grandes variaciones de citas, entre las que sobresalen las correspondientes a países latinoamericanos como Brasil, Perú y Chile.

Entre las instituciones extranjeras que sobresalen porque logran un alto número de citas y sostienen colaboración científica con México, como se muestra en la tabla anterior destacan: la UnivTexas, UnivHarvard, UnivCalifDavis, UnivArizona, UnivCalifBerkeley, UnivTexasA&M, UnivMaryland, UnivMichigan, CSIC, ColumbiaUniv, Univ S Calif, UnivIllinois, UnivToronto y la UnivCalifIrvine citas, solamente con la UnivTexas y UnivHarvard. Las otras 23 instituciones también mostradas en la tabla 3-10 obtuvieron un 0.01 mínimo y 0.9% máximo de citas, es decir entre 5 929 y 9 592. El tipo de colaboración que México mantiene con estas instituciones es a través de distintas coautorías

conformadas por dos, tres, cuatro, cinco, 20, 25, 350 y hasta 450 autores en colaboración.

Tabla 3-13. Instituciones extranjeras de mayor colaboración científica con México.

Ranking	País	Institución	Trabajos	Citas	% Trabajos	% Citas
1	EUA	UnivTexas	907	17867	1.16	3.28
2	España	CSIC	700	7157	0.90	1.31
3	EUA	UnivArizona	567	9531	0.73	1.75
4	EUA	UnivCalifDavis	502	9592	0.64	1.76
5	EUA	TexasA&Muniv	422	8845	0.54	1.62
6	Cuba	UnivLaHabana	387	1647	0.50	0.30
7	EUA	UnivCalifBerkeley	378	8921	0.48	1.64
8	EUA	UnivHarvard	371	11698	0.48	2.14
9	Francia	CNRS	368	4405	0.47	0.81
10	España	UnivAutBarcelona	355	3725	0.45	0.68
11	EUA	UnivMaryland	331	8690	0.42	1.59
12	EUA	UnivIllinois	328	6553	0.42	1.20
13	EUA	UnivWisconsin	319	4877	0.41	0.89
14	Inglaterra	UnivLondon	314	5369	0.40	0.98
15	Rusia	RussianAcadSci	311	1526	0.40	0.28
16	EUA	UnivCalifLosAngeles	308	4828	0.39	0.89
17	EUA	Univ S Calif	299	6689	0.38	1.23
18	EUA	UnivWashingtonState	287	5369	0.37	0.98
19	EUA	USDA-EUA	282	2146	0.36	0.39
20	Francia	UnivParis 06	279	2380	0.36	0.44
21	EUA	UnivCalifIrvine	277	5929	0.35	1.09
22	Perú	InstInvestMedNaval	252	48	0.32	0.01
23	EUA	UnivMichigan	252	8410	0.32	1.54
24	EUA	UnivFlorida	242	2421	0.31	0.44
25	EUA	FERMILAB	241	4518	0.31	0.83
26	Canadá	UnivToronto	237	6493	0.30	1.19
27	Rusia	MoscowMvLomonosovStateUniv	229	3381	0.29	0.62
28	EUA	ColumbiaUniv	228	7096	0.29	1.30
29	EUA	UnivNebraska	224	3940	0.29	0.72
30	Checoslovaquia	AcadSciCzechRepubl	222	3206	0.28	0.59
31	EUA	UnivCalifRiverside	221	4810	0.28	0.88
32	Brasil	CtrBrasileiroPeaquisasFis	220	3170	0.28	0.58
33	EUA	StanfordUniv	220	5073	0.28	0.93
34	Brasil	UnivSaoPaulo	218	4000	0.28	0.73
35	EUA	CornellUniv	216	3436	0.28	0.63
36	EUA	MichiganStateUniv	211	4210	0.27	0.77
37	Chile	UnivChile	200	3724	0.26	0.68
			11 925	205 680	15.25	37.67

En la tabla 3-14 se presentan las 10 disciplinas científicas en las que se clasificaron las categorías temáticas JCR asignadas a los trabajos publicados por instituciones mexicanas, y el número de países que tienen colaboración científica con México a través de estas disciplinas, así como los trabajos que comparten en colaboración y el porcentaje de trabajos en colaboración.

Como se observa la medicina y ciencias de la salud es la disciplina que mayor número de países atrae en colaboración, 123 de los 143 identificados, prácticamente un 80% del total de los países, entre ellos logran publicar 19 302 trabajos de investigación equivalente al 23.1% de los trabajos de investigación. Ciencias biológicas reúnen a 114 países y juntos publican 14 746 y el 17.7% de los trabajos. Las ingenierías por su parte, reúnen a 102 países y publican 8 835 trabajos que corresponden al 10.5% de los trabajos. Siguiendo el orden descendente de países en colaboración las ciencias físicas son las mayor número de trabajos publican en participación con 91 países. El resto de las disciplinas involucran a un menor número de países en colaboración, esto implica que existe un menor porcentaje de trabajos en colaboración.

Tabla 3-14. Colaboración científica internacional por disciplina científica.

Disciplina Científica	Países en Colaboración	Trabajos Colaboración	% Trabajos Colaboración
Medicina y Ciencias de la Salud	123	19 302	23.1
Ciencias Biológicas	114	14 746	17.7
Ingenierías	102	8 835	10.5
Ciencias Físicas	91	25 555	30.7
Agrociencias	82	1 926	2.3
Ciencias Químicas	77	4 633	5.5
Ciencias de la Tierra	72	3 309	3.9
Ciencias Sociales y Cienc-Comportamiento	69	2 816	3.3
Matemáticas	53	1 880	2.2
Humanidades	29	415	0.5
Total	143	83 418	100

Es importante aclarar que las humanidades y ciencias sociales están registrando sus valores reales, dado que, los trabajos que el presente estudio da a conocer corresponden a documentos registrados a través del SCIE. En este sentido, el grueso de los trabajos para estas áreas se localizarían en los

índices de Social Science Citation Index (SSCI) y Arts & Humanities Citation Index (A&HCI).

Por otro lado, es un hecho que las disciplinas que mayor socialización tiene al compartir los temas de investigación a nivel mundial son Medicina y Ciencias de la Salud, Ciencias Biológicas, Ingenierías, Físicas y Agrociencias que duplican en colaboración al resto de las disciplinas. El alto número de países y trabajos en colaboración dan una idea del nivel de relevancia que estas disciplinas tienen en el ámbito internacional, sobre todo medicina y ciencias de la salud, ciencias biológicas e ingenierías; tres disciplinas que actualmente están realizando grandes aportaciones en cuestiones de bienestar y salud, además de los beneficios que aportan a la sociedad.

3.3.19. Red de coautoría institucional nacional

El reporte de datos que arroja el programa Pajek sobre el análisis de redes de coautoría institucional, señala que en total se analizaron 1 571 nodos (instituciones), los que generaron 1 794 líneas producto de sus distintas relaciones o enlaces. De estas 812 (45%) de las líneas corresponden a colaboraciones únicas; 976 registran de una a 281 enlaces (54%); cinco tienen colaboraciones de 281 a 561. Este grupo está integrado por las colaboraciones entre UNAM-Cinvestav, UNAM-IPN; UNAM-UAM, UNAM-IMSS y la UAM-IMP. Por último hay una línea que soporta frecuencias de 561 a 841, y corresponde a la coautoría que se produce entre la UNAM y la SSA, que de acuerdo con el análisis aparece como la relación más densa establecida con 841 trabajos en colaboración.

Para llevar a cabo un análisis más específico las instituciones se clasificaron de acuerdo con los Manuales de Frascati (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, 993) en seis particiones o grupos: (1) público, (2) empresas, (3) privado, (4) salud, (5) educación, (6) investigación. A estas particiones se adicionaron dos más, (7) centros tecnológicos y (8) otros. Estas últimas integran a las instituciones que no se ajustan a los sectores clasificados en los manuales. Sin embargo, para fines de la investigación se consideró necesario dar lugar a estas clasificaciones, sobre todo, porque se busca

identificar la coautoría que existe entre los distintos grupos de investigación incluyendo a los institutos tecnológicos y la empresa. Esta clasificación es distinta a la realizada para los sectores productivos, en particular porque ésta última pretende mostrar a los grupos del país que mayor producción e impacto generan.

La tabla 3-15 está estructurada de la siguiente manera: la primera columna se refiere al cluster según fueron clasificadas las instituciones; la segunda indica la frecuencia de participación de instituciones por cada cluster; en la tercera se muestra el % de frecuencias; la cuarta y cinco son las frecuencias y % de frecuencias acumuladas; finalmente la última columna señala la institución que en cada cluster aparece en primer lugar de acuerdo a un orden alfabético que sigue para la organización. En este caso y según los valores porcentuales que obtienen los cluster, las instituciones de salud, empresas, educación superior y otros, son los grupos más grandes al registrar los porcentajes más altos de instituciones con más de 12%. El resto de cluster están conformados por menor instituciones es por eso que registran entre 2% y 7%.

Tabla 3-15. Frecuencia de distribución por número de cluster: instituciones

Cluster	Freq	Freq %	CumFreq	CumFreq%	Representative
1	100	6.3654	100	6.3654	CtrAdminAgua3erMundo
2	290	18.4596	390	24.8250	AbbottLabsMex
3	45	2.8644	435	27.6894	AcapulcoPrincHotel
4	443	28.1986	878	55.8880	AcadNaclMed
5	198	12.6034	1076	68.4914	ANUIES
6	117	7.4475	1193	75.9389	AcademNaclCienc
7	69	4.3921	1262	80.3310	CERETI
8	202	12.8581	1464	93.1891	AgrupamientCaballo
Sum	1571	100.0000			

Otra de las medidas que ofrece Pajek para ayudar en el análisis de los datos son las de centralidad, las que están destinadas a la detección e identificación de los actores centrales de una red. La idea de centralidad no hace referencia a la posición de un actor (institución), sino a su grado de integración o cohesión en la red. Son tres las medidas de centralidad: (1) centralidad: grado, que señala el número de coautorías o lazos directos entre las instituciones; (2) centralidad: cercanía, mide la distancia de cada nodo con el resto, entre más

elevada es la centralidad de las instituciones por cercanía, mayor será su capacidad de interacción con el resto de las instituciones; (3) centralidad: intermediación, indica el número de veces que es necesario pasar por cada nodo para poder conectarse con otros. El grado de intermediación enfatiza que existe mayor capacidad para actuar como punto de interconexión entre otros nodos (Molina, Muñoz y Domenech, 2008).

La tabla 3-16 presenta las 10 instituciones con mayor grado de centralidad por grado, cercanía e intermediación. Como se muestra, las instituciones van cambiando en el orden de posición, dependiendo del tipo de centralidad que se trate, excepto la UNAM que siempre está en primer lugar. Para el primer caso, de centralidad por grado, la UNAM registra como valor más alto 126 lazos de colaboración; lo que quiere decir que la UNAM tiene gran influencia sobre las demás instituciones. Le sigue en orden de lazos en colaboración el IPN con 57, la SSA con 46, el Cinvestav con 44 al igual que la UAM, finalmente la institución con menos lazos es la UANL con 23.

Con respecto a la centralidad por cercanía, nuevamente la UNAM presenta alta influencia hacia las demás instituciones. Situación que comparte con el IPN, el Cinvestav, la SSA, la UAM, el IMSS, UDG, BUAP, UANL, UAEM tal como se muestra en la tabla correspondiente. Por último, se aparecen las 10 instituciones que registran la más alta centralidad por intermediación, entre ellas, destacan nuevamente la UNAM, la SSA y el IPN. Con menos promedio están presentes: IMSS, UAM, BUAP, Cinvestav, UANL, UDG y AsocCivil.

3-16. Instituciones con mayor centralidad, cercanía e intermediación: instituciones.

Centralidad: grado				Centralidad: intermediación				Centralidad: cercanía			
Rank	Vertex	Cluster	Id	Rank	Vertex	Cluster	Id	Rank	Vertex	Value	Id
1	1568	126	UNAM	1	1568	0.0089003	UNAM	1	1568	0.0873897	UNAM
2	1571	57	IPN	2	1570	0.0021835	SSA	2	1571	0.0704518	IPN
3	1570	46	SSA	3	1571	0.0018784	IPN	3	1567	0.0670611	Cinvestav
4	1567	44	Cinvestav	4	1569	0.0018060	IMSS	4	1570	0.0668822	SSA
5	1437	44	UAM	5	1437	0.0011384	UAM	5	1437	0.0668822	UAM
6	1569	38	IMSS	6	131	0.0008773	BUAP	6	1569	0.0667044	IMSS
7	131	30	BUAP	7	1567	0.0008248	Cinvestav	7	1457	0.0628592	UDG
8	1457	24	UDG	8	1442	0.0008201	UANL	8	131	0.0628592	BUAP
9	1494	23	UNISON	9	1457	0.0007526	UDG	9	1442	0.0616237	UANL
10	1442	23	UANL	10	62	0.0006300	AsocCivil	10	1430	0.0604358	UAEM

En general los valores analizados confirman lo que es conocido, que hay instituciones que juegan un papel fundamental en el desarrollo de la ciencia en México, por ellas se amplían las redes de colaboración científica a lo largo y ancho del país, a través de instituciones que ya están consolidadas en la investigación, y en otros casos, abriendo nuevos espacios que van desde la construcción de las infraestructuras, además de la integración de los programas de posgrado.

Con la figura 3-26 se hace referencia a la densidad de colaboración que sostienen los diferentes grupos o particiones en que se clasificaron las instituciones. Como se aprecia las instituciones de educación, investigación y salud sostienen las colaboraciones más densas representadas en este caso por el grosor de las líneas que las unen. Aunque muy ligero el grado de colaboración, los demás grupos también registran coautorías, sobre todo con las instituciones de educación, investigación y salud.

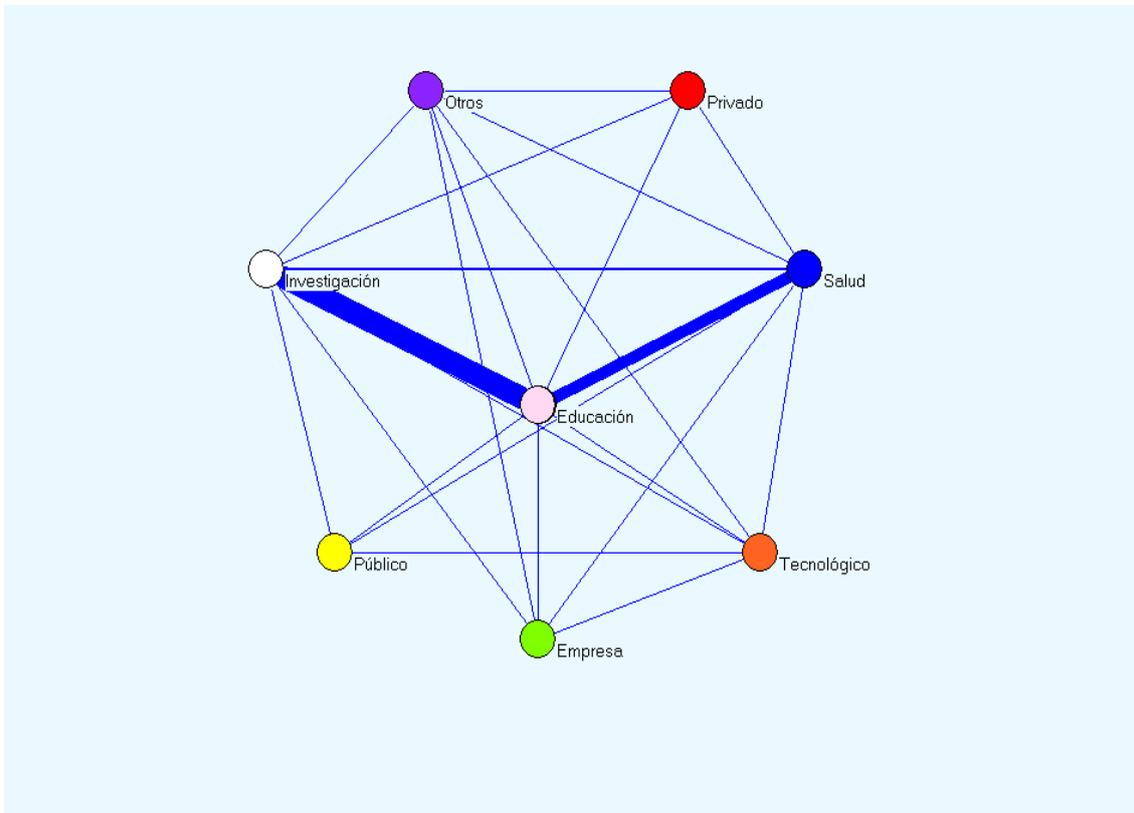


Figura 3-26. Grado de coautoría por grupos de investigación.

Como se mencionó, la intensidad en las relaciones de colaboración identificada entre los grupos de educación superior, salud y centros de investigación no ha producido ninguna sorpresa, de alguna manera se esperaba un escenario como éste. En particular, porque es conocido que en México hay instituciones que son soporte de la investigación científica del país, las que están formando parte de los diferentes cluster en que se clasificaron las instituciones mexicanas. En este caso aparecen bien representadas como se ha dicho, la UNAM, UAM, IPN, Cinvestav, en general casi todas las instituciones de educación superior y centros CONACYT; al igual que las instituciones de salud como la SSA y el IMSS. Sin embargo, se esperaba que algunos sectores mostraran otros resultados, por ejemplo, los institutos tecnológicos, excepto los casos del ITESM, ITAM, Instituto Tecnológico de Veracruz, Querétaro, Durango, Zacatepec, de la Laguna, el Agropecuario y el Tecnológico del Mar como se muestran en figura 3-27, que sorprenden por la colaboración que sostienen con el resto de los cluster.

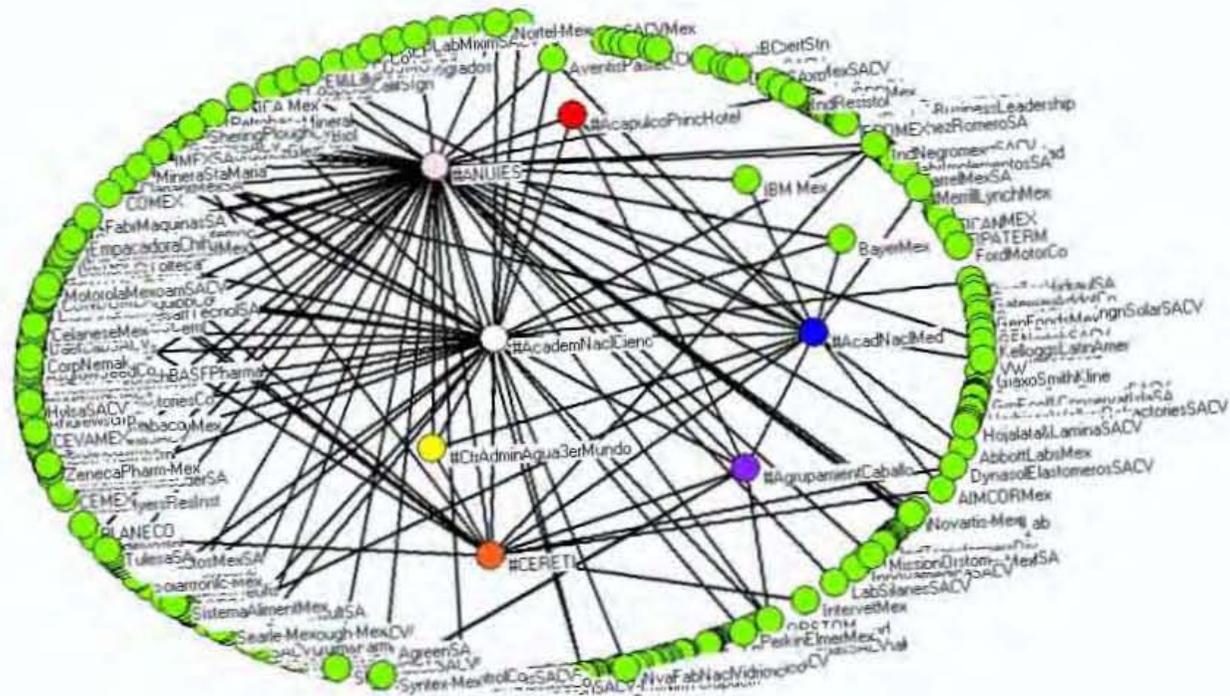


Figura 3-27. La participación de la empresa con el resto de grupos de investigación.

3.3.20. Red de coautoría por países

Los países que sostienen colaboración científica con México son mostrados por serie anual en la figura 3-29, misma que también presenta el desarrollo de la producción científica mexicana en el periodo señalado. Como se advierte durante la década de los años 80 no había más de 40 países colaborando con instituciones mexicanas. Además de ser un periodo que se caracteriza por la presencia de distintos altibajos. A partir de 1989 y particularmente 1992 el panorama cambia completamente, en estos años solo se observan crecimientos, excepto 1991, 1993, 2000 y 2004 donde se perciben caídas en el número de países que se mantienen colaborando.

La diferencia de incrementos registrados entre la década de los años 80 y 90 es del orden de 40 a 90, es decir, en los años 90 aumentan al doble los países que mantienen alguna colaboración con instituciones mexicanas. Finalmente en los últimos se alcanzan los máximos de países en colaboración con 100 (2003) a pesar de que en el siguiente año vuelve a disminuir a 96. Los incrementos y decrementos más altos ocurridos entre un año y otro son de 14, 21 y 11 sucedidos en 1981, 1992 y 1994 respectivamente; y los decrementos más significativos se dieron en 1991 con -7 países menos en colaboración, 1994 con -5, y 1988 y 1993 con -4.

La estabilidad que se muestra en los años 80 es muy probable que tenga que ver con los efectos de la crisis económica por la que atravesaba el país durante este periodo. En este caso, la creación del SNI no parece contribuir a incrementar la colaboración entre países y más bien ayuda a que ésta se sostenga la existente.

Sin embargo, el crecimiento que se observa en los años 90 tiene que ver con la incorporación de grupos y áreas de investigación en la colaboración científica internacional, atraídos en algunos casos por el equipo de laboratorio que generalmente sólo se localiza en países e instituciones específicas, y en estos casos se comparte a través de la colaboración científica. Sin embargo, también puede tratarse de la implementación de nuevas metodologías, así como el desarrollo de temas comunes de investigación entre varios países, por ejemplo el estudio del genoma humano, el descubrimiento de nuevas partículas y los

estudios sobre astropartículas. Además del interés entre distintos países para el estudio de aspectos que tienen que ver con cuestiones de salubridad, o bien, la atención de problemas de tipo patológico que generalmente son propios de los países en vías de desarrollo.

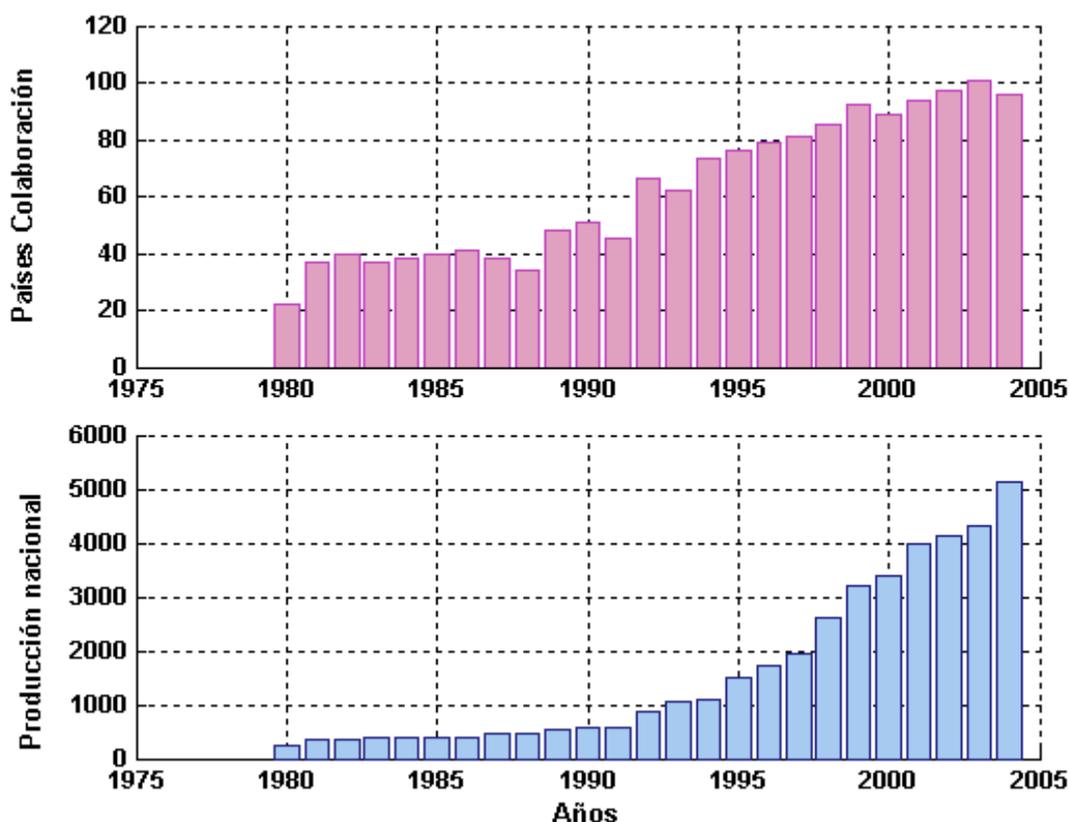


Figura 3-29. Crecimiento anual de países en colaboración y producción científica.

Por otro lado, México sostiene colaboración científica con 143 países. De éstos, 44 corresponden a países de Europa con quienes mantiene un promedio de (30.8%) de la producción total; con 31 países africanos realiza el (21.7%), con 33 de asía el (23.1%); 21 de América incluidos Estados Unidos y Canadá sostiene en promedio el (14.7%); con cuatro países de Oceanía publica el (2.8%); y por último con 10 países de América Central y del Caribe el (7.0%) de la producción.

De acuerdo con el análisis de redes de coautoría por países el número de vértices es de 143, y el total de líneas que entre éstos se generan es de 1 078.

La distribución de frecuencia por cluster es presentada en la tabla 3-17, donde se percibe que el primer cluster únicamente integra a tres países pertenecientes a América del Norte, en este caso su porcentaje de frecuencia es de 2.0979, la frecuencia-acumulada de tres, y un porcentaje de frecuencia-acumulada de 2.0979, donde aparece Canadá como el primero en la lista. En el segundo cluster se integraron 47 países pertenecientes geográficamente a Europa, entre ellos Armenia es el país que aparece en primer lugar según el orden alfabético se sigue. En el tercero hay 37 países y corresponden a Asia con Afganistán en primer lugar; en el cuarto aparece Argelia representando a los países africanos; en el quinto únicamente son 3 países correspondientes al continente oceánico; el sexto está representado por 18 países que pertenecen a América-Central y el Caribe; por último, con 10 países están los países de América-Sur. Tal como se observa es más grande el número de países de Europa, Asia y África que presentan alguna colaboración con México, los valores porcentuales que presentan así lo infiere. Sin embargo, la colaboración más densa quedó establecida entre los continentes de Europa. Así como de América-Central y América-Sur, lo que seguramente tiene que ver con la ubicación de los grandes laboratorios de investigación generalmente instalados en Europa. Influye también el tipo de colaboración en la que se integran, algunas provocadas por organismos internacionales como la OMS y la UNESCO donde generalmente agrupan a los países en vías de desarrollo. Por otro lado, la colaboración entre países de la región latinoamericana y del Caribe forma parte de una tradición, donde estos países comparten situaciones muy parecidas propias de economías en desarrollo.

Tabla 3-17. Distribución de frecuencias por número de cluster: países.

Cluster	Freq	Freq%	CumFreq	CumFreq%	Representative
1	3	2.0979	3	2.0979	Canadá
2	47	32.8671	50	34.9650	Armenia
3	34	23.7762	84	58.7413	Afganistán
4	28	19.5804	112	78.3217	Argelia
5	3	2.0979	115	80.4196	Australia
6	18	12.5874	133	93.0070	Bahamas
7	10	6.9930	143	100.0000	Argentina
Sum	143	100.0000			

En la tabla 3-18 se hace referencia a los 10 países que mayor grado de centralidad reportan, tanto de grado, como de cercanía e intermediación. La centralidad por grado favorece a EUA con 134 lazos de coautoría, al igual que Alemania, Italia y Francia que también registran altos niveles de colaboración. Los menores grados de centralidad son para Argentina y Australia.

La centralidad por cercanía indica que Canadá es quien tiene el grado más alto, el segundo lugar le corresponde a Austria e Inglaterra, el tercero es para Argentina y Bélgica; Brasil está en la cuarta posición, y el resto de los países por sus valores están ubicados en los últimos lugares.

Los países que están mejor posicionados con respecto a la centralidad por intermediación, es decir, son vínculo para conectar a otros países: Inglaterra y Canadá, al igual que Italia y Alemania que también registran altos valores. Los demás países aunque con menor grado de intermediación, también son puntos fundamentales para conectar a otros países.

Tabla 3-18. Centralidad por grado, cercanía e intermediación: países.

Centralidad: grado				Centralidad: cercanía				Centralidad: intermediación			
Rank	Vertex	Cluster	Id	Rank	Vertex	Value	Id	Rank	Vertex	Value	Id
1	23	76	Canadá	1	23	0.6520799	Canadá	1	38	0.0206185	Inglaterra
2	5	75	Australia	2	5	0.6487359	Australia	2	23	0.0205441	Canadá
3	38	74	Inglaterra	3	38	0.6454260	Inglaterra	3	62	0.0177966	Italia
4	11	68	Bélgica	4	11	0.6231699	Bélgica	4	48	0.0100750	Alemania
5	3	65	Argentina	5	3	0.6201152	Argentina	5	64	0.0096803	Japón
6	17	65	Brasil	6	17	0.6170902	Brasil	6	57	0.0064406	India
7	134	60	EUA	7	134	0.6081899	EUA	7	27	0.0054363	C-Rica
8	48	57	Alemania	8	48	0.5939131	Alemania	8	17	0.0034795	Brasil
9	62	54	Italia	9	62	0.5829654	Italia	9	25	0.0032350	Colombia
10	47	48	Francia	10	64	0.5672803	Japón	10	11	0.0030140	Bélgica
Sum				62.1130013				Sum 0.1315553			

A través de la figura 3-30 se expone el análisis de coautoría entre países, mismos que fueron clasificados en siete particiones correspondientes a los continentes: (1) América-Norte, (2) Europeo, (3) Asiático, (4) Africano, (5) Oceánico, (6) América-Central y (7) América-Sur. Como se observa, la figura presenta a los países clasificados en varios niveles según el número de trabajos que mantienen en colaboración. En este caso, el algoritmo de partición que aplica Pajek reporta la presencia de cinco grupos: el primero conformado

por los países que reúnen de 1 a 50 trabajos en colaboración, integrado por 116 países lo que equivalente al 80% del total de países, mostrados en la gráfica por las esferas en color amarillo, y el número uno en clasificación (Rank); el segundo grupo está constituido por siete países que en colaboración reportan de 50 a 100 trabajos, se identifican por el color verde y el número dos de partición; el tercer grupo está integrado por 13 países, señalados en color rojo y número tres, los que mantienen en colaboración de 100 a 500 trabajos; el cuarto y quinto grupo están conformados por cuatro países y comparten en colaboración de 500 a 1000 trabajos el primero y esferas en color azul, y de 1000 a 1625 para el segundo en color rosa. Tal como se muestra en el gráfico, los países que mantienen más trabajos en colaboración están concentrados en el centro de la figura, y los de la periferia son los que menos trabajos en colaboración sostienen.

Estos datos confirma que México ha incrementado sus niveles de colaboración científica con otros países, así lo infiere el hecho de que predomine la colaboración con menos de 50 trabajos, lo que también quiere decir, se trata de colaboraciones recientemente establecidas con países de prácticamente todos los continentes. Las colaboraciones más fuertes se dan a través de países de amplia tradición científica establecida desde hace varios años es por ello que logran de 100 a 500 colaboraciones.

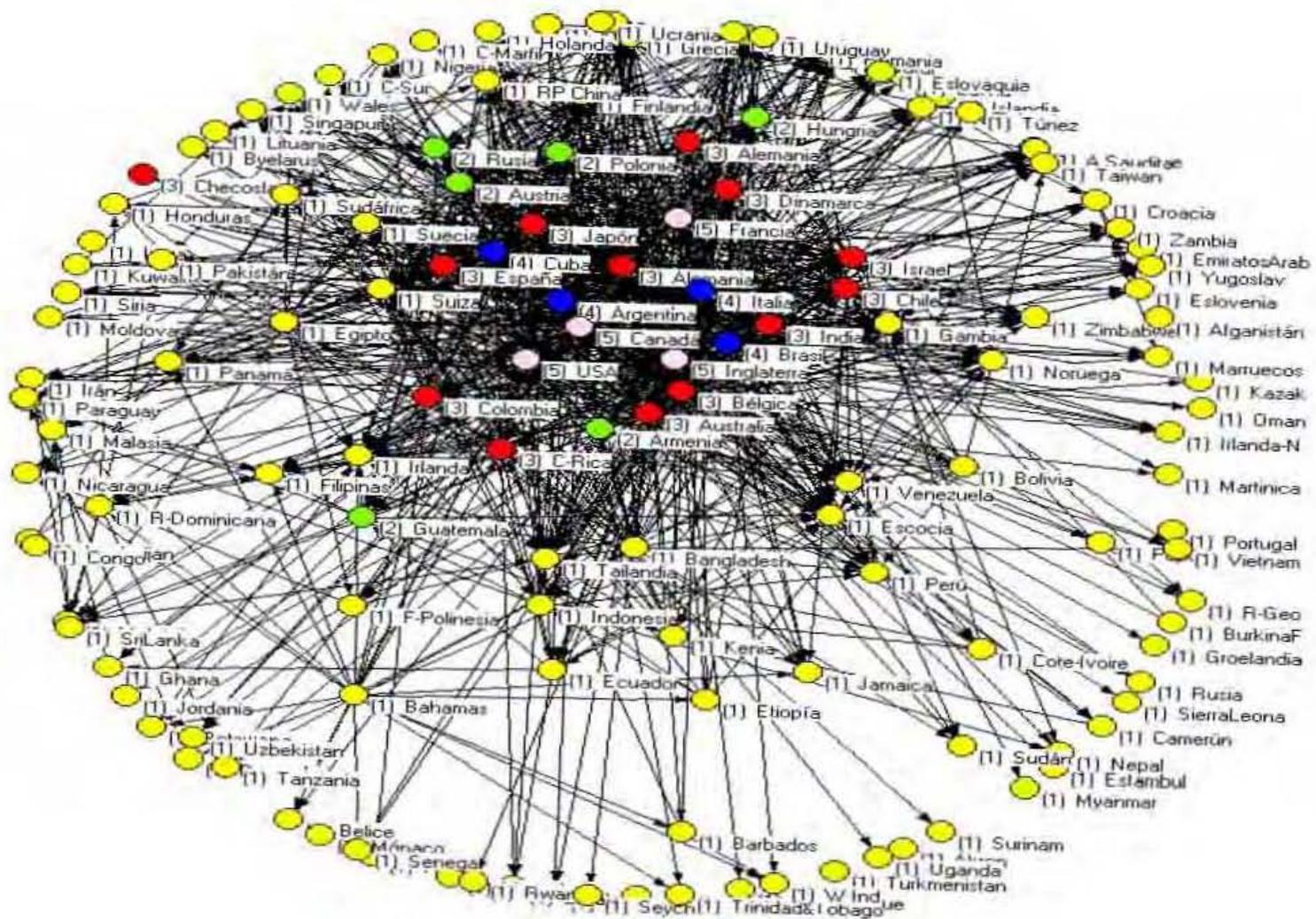


Figura 3-30. Principales niveles de participación de países por trabajo.

La colaboración entre continentes mostrada en la figura 3-31 señala que la relación más fuerte en función del número de trabajos en colaboración remarcada por la intensidad de las líneas, se produce entre los países de Europa-Asia, América del Sur-Europa, América del Sur-Asia, América Central - Europa, así como Europa-África. En este caso Europa es el continente de mayor poder o centralidad, sin embargo, tiene la menor cercanía con los demás continentes, esta posición le corresponde a América-Norte y Oceanía cuya distancia entre ellos es de cinco nodos o puntos. Posteriormente entre América Sur-Oceanía se establece otra cercanía de seis puntos, con 10 aparecen América-Central y Oceanía. Finalmente con igual diferencia de nodos (16) está América Central-América Norte, así como África – América Norte.

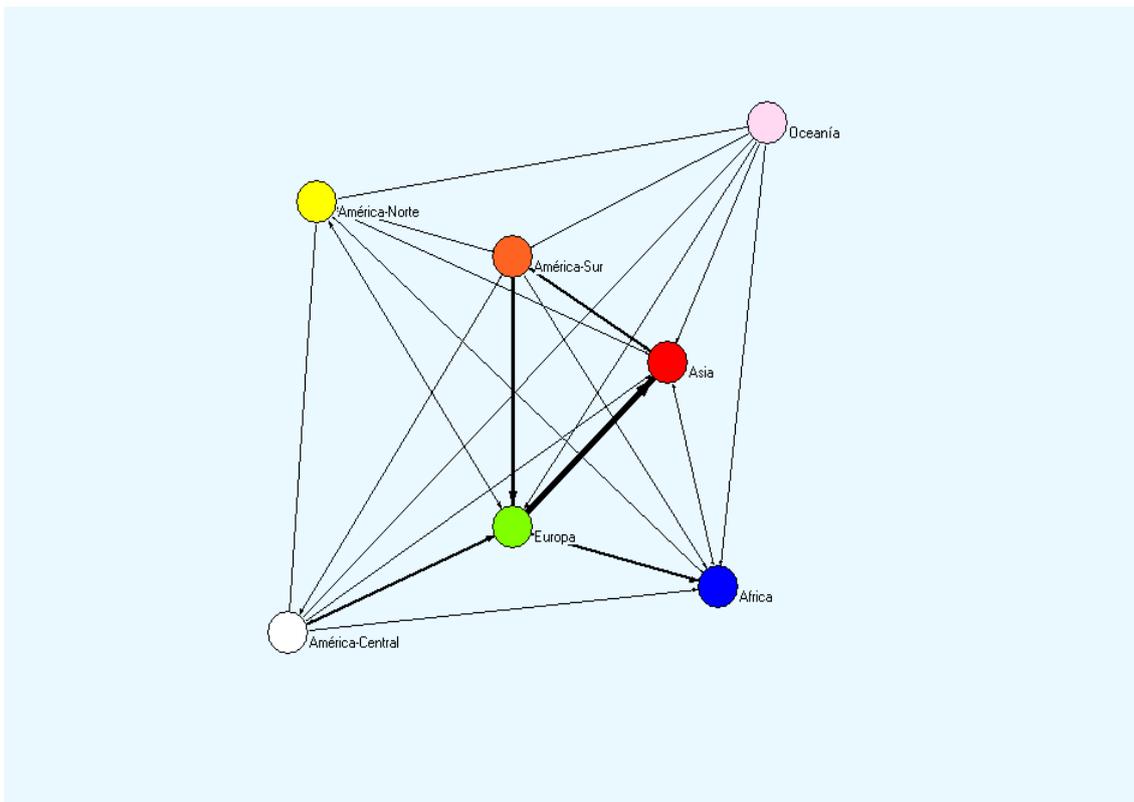


Figura 3-31. Relación de coautoría por continente.

Tal como se observa, México mantiene colaboración con países de todos los continentes, pero sobresale la establecida con los países que conforman los continentes de América-Sur, Europa y Asia, así como de América-Central y América-Norte. En algunos casos esta colaboración se justifica por la cercanía

que existe, otros porque cuentan con las instalaciones y laboratorios queridos para el desarrollo de la investigación, y otros más juegan un papel fundamental al contar con investigadores líderes en el desarrollo de ciertas líneas de investigación, así como también por el tipo de convenio de colaboración que a nivel de países se logran establecer.

3.3.21. Red de categorías temáticas

De acuerdo con la clasificación temática que sigue el Journal Citation Reports (JCR), los trabajos publicados por investigadores adscritos a instituciones mexicanas están clasificados en 172 distintas categorías temáticas, de 179 que actualmente integra el JCR (2007).

A través de la figura 3-32 se presentan las 10 categorías temáticas identificadas en cada quinquenio con más alta producción. En el primer periodo gran parte de las categorías se ubican por abajo de los 500 trabajos, sólo unas cuantas rebasan dicho promedio, entre ellas, Pharmacol & Pharmacy, Med Res & Experiment, y Med Gen & Internal, esta última identificada como la más sobresaliente en el primer quinquenio por los 1 000 trabajos publicados. Conforme se avanza en los quinquenios de estudio las categorías se van ajustando a promedios de producción muy parecidos. Por lo que se puede decir, que en número crecen, pero en proporción decrecen, salvo los casos excepcionales de Phys Multidiscip, Chem Multidiscip y Environm Sci. La misma figura advierte según los periodos de análisis, la existencia de cierta movilidad y crecimiento, por ejemplo, Astron & Astrophys, Environm Sci, Mater Sci Multidiscipl, Biochem & Mol Biol y Phys, Part & Fields mejoran su posición en la clasificación por periodo. Otras por el contrario pierden posiciones y algunas más se sostienen entre las mejores por el número de publicaciones.

Por último, las categorías que predominan corresponden a medicina y ciencias de la salud, ciencias químicas, biológicas y físicas sobre todo la última, que mantienen seis categorías de las 17 que se muestran en la figura. Es importante mencionar que el hecho de que en cada quinquenio se observen diferencias entre las 10 categorías más altas, implica que todas las áreas de

investigación llevan una tendencia a ser importantes y por tanto a crecer con respecto a la producción científica que registran. Sin embargo, es conveniente mencionar que si las revistas de publicación sobre todo las mexicanas logran una mejor posición en los índices del SCIE, con seguridad modificarán la estructura que actualmente presentan las categorías temáticas.

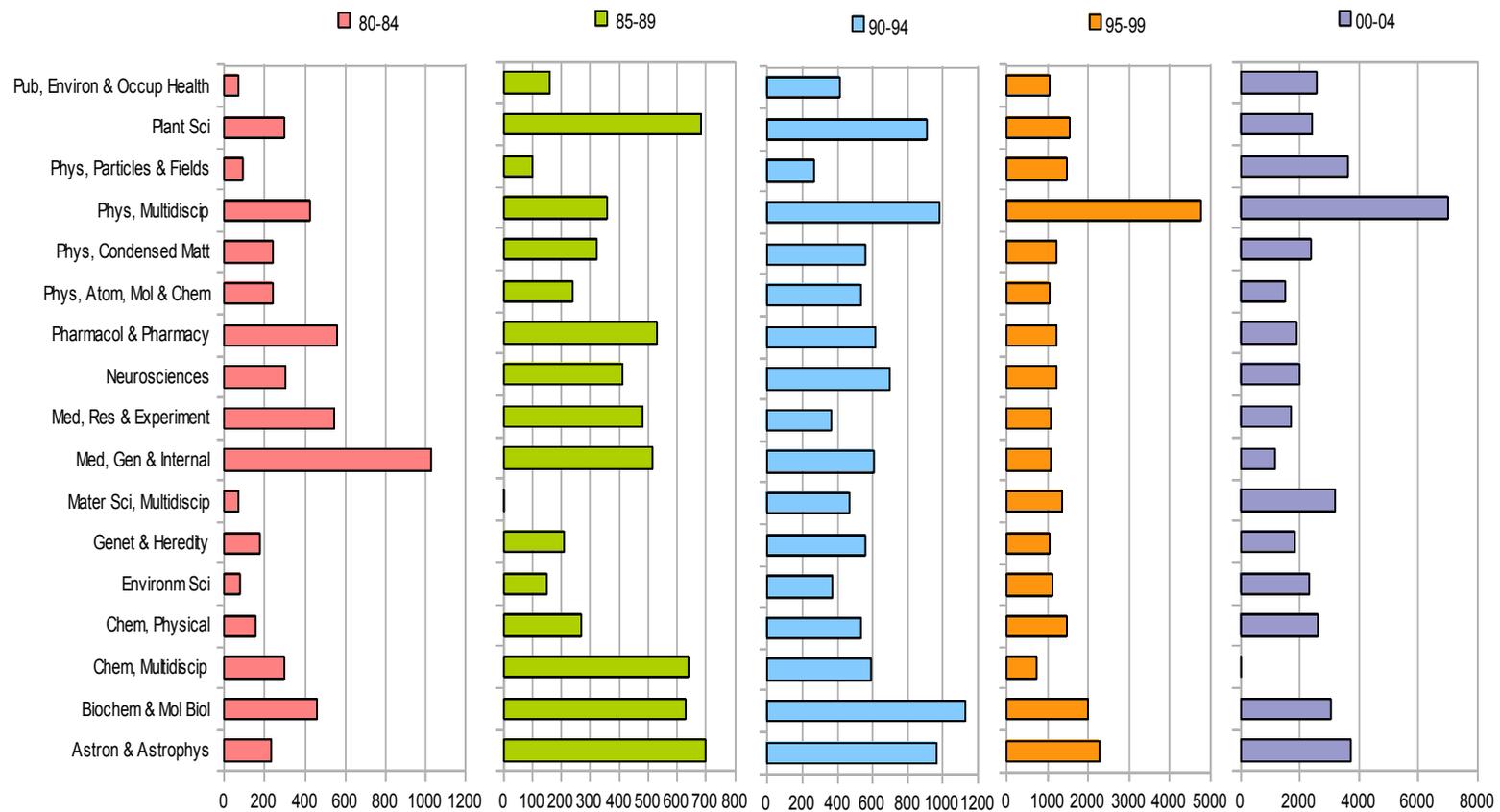


Figura 3-32. Clasificación de las categorías temáticas con mayor número de trabajos publicados por quinquenio.

La figura 3-33 presenta la interdisciplinaridad entre disciplinas científicas. De acuerdo con el análisis de los datos reportados por pajek, se determinó que en total se analizaron 179 distintas categorías temáticas, clasificadas en las siguientes 10 especialidades o disciplinas: (1) agrociencias, (2) ciencias biológicas, (3) ciencias de la tierra, (4) ciencias físicas, (5) ciencias multidisciplinares, (6) ciencias químicas, (7) ciencias sociales, (8) ingenierías, (9) matemáticas, y (10) medicina y ciencias de la salud. El análisis reporta un total de 1 160 líneas producto de los enlaces entre las diversas categorías. La densidad más grande (0.0362036), y el valor más alto entre líneas (51) corresponde a la relación entre Engineering Electron & Electronics y Acoustics, lo que indica que son los actores centrales en la red.

En la misma figura se puede observar que los lazos de colaboración más fuerte se establecen entre las ingenierías - ciencias físicas, al igual que entre ciencias biológicas - medicina y ciencias de la salud. Este efecto es identificado en la red por la densidad de las líneas que las unen, con menos fuerza también destaca la unión de categorías como ciencias química - ciencias biológicas, ciencias biológicas - ciencias sociales, de ingenierías - ciencias sociales, y de medicina con ciencias de la salud. Lo anterior demuestra que la interdisciplinaridad más fuerte se establece entre ingenierías - ciencias físicas, y que lo mismo sucede con ciencias biológicas - medicina y ciencias de la salud. Por lo que se observa, hay más temas comunes de investigación entre las ingenierías y las ciencias físicas, biológicas y medicina y ciencias de la salud, lo que resulta muy claro dado que las ingenierías desde hace algunos años están haciendo importantes aportaciones en todos los sectores de la investigación. De la misma manera se justifica la interdisciplinaridad que existe entre las ciencias biológicas y la medicina y la que generalmente repercute en la solución a problemas de salud que afectan a la sociedad.

Tabla 3-19. Distribución de frecuencias por número de cluster: categorías.

Cluster	Freq	Freq %	CumFreq	CumFreq%	Representative
1	7	3.9106	7	3.9106	AgrEcon&Pol
2	22	12.2905	29	16.2011	Biology
3	9	5.0279	38	21.2291	Astron&Astrophys
4	19	10.6145	57	31.8436	Acoustics
5	1	0.5587	58	32.4022	MultSci
6	11	6.1453	69	38.5475	BiochemResMethod
7	29	16.2011	98	54.7486	Anthropol
8	33	18.4358	131	73.1844	AutControlSys
9	3	1.6760	134	74.8603	Mathematics
10	45	25.1397	179	100.0000	Allergy
Sum	179	100.0000			

La tabla 3-20 se refiere a las 10 categorías temáticas con más alto grado de centralidad, como se observa, Neuroscience, CompSciInterdApp, publicEnviron y Pharmacol&Pharm tienen los enlaces más altos mayores a 100. El resto de las categorías también están identificados con alto grado de enlaces pero en menor medida comparado con los primeros.

Las categorías que reportan mejor centralidad por cercanía corresponden a BiochemMolBio, EnvSci 0.4972386 y CompSciInterd. En general las 10 categorías registran alto grado de cercanía entre ellas mismas. Sin embargo, las que mejor grado de conexión muestran entre sí son BiochemMolBiol, SocialSci, EnvStud y EnvSci. Con menor grado de intermediación aparecen: International Relation, Biology, Energ&Fuel, Gen&Herdity, Anthropol y MaterialSciCeramic como se muestra en la tabla respectiva.

Finalmente según los datos observados, las categorías que dominan la centralidad por grado, cercanía e intermediación son las correspondientes a las áreas biológicas y del medio ambiente, donde las últimas están desarrollando un papel fundamental en la investigación del medio ambiente, sobre todo aguas, suelos y mares.

Tabla 3-20. Centralidad, cercanía e intermediación: categorías.

Rank	Vertex	Cluster	Id	Rank	Vertex	Cluster	Id
1	17	46	BiochemMolBiol	1	17	0.5273743	BiochemMolBio
2	62	33	EnvSci	2	62	0.4972386	EnvSci
3	110	32	Neuroscience	3	171	0.4958220	CompSciInterd
4	171	31	CompSciInterdApp	4	26	0.4665778	ChemApp
5	150	31	PublicEnviron	5	150	0.4665778	PublicEnviron
6	51	30	EngElect&Electron	6	128	0.4665778	Pharmacol
7	128	30	Pharmacol&Pharm	7	21	0.4628551	BiotechnolApp
8	81	29	Immunology	8	16	0.4579829	BiochemRes
9	69	27	Gen&Heredity	9	151	0.4567809	RadiolNuclMed
10	24	26	CellBiol	10	19	0.4555851	Biology

Centralidad: intermediación

Rank	Vertex	Value	Id
1	17	0.0298086	BiochemMolBiol
2	156	0.0292582	SocialSci
3	63	0.0244982	EnvStud
4	62	0.0242477	EnvSci
5	87	0.0186200	InternationalRelation
6	19	0.0177331	Biology
7	46	0.0176044	Energ&Fuel
8	69	0.0172517	Gen&Heredity
9	12	0.0153241	Anthropol
10	92	0.0150793	MaterialSciCeram
Sum		0.5357392	

La figura 3-34 muestra las categorías temáticas agrupadas en los siguientes cuatro niveles: el primero conformado por 35 temáticas señaladas en la red por las esferas en color rojo, juntas logran el 19% de las frecuencias, y son las menos representativas aparecen de 1 y 50 veces. El segundo y más grande de todos los grupos o niveles, está integrado por 96 temáticas correspondiente al 53% y registran de 50 a 500 temáticas, son las que predominan en el gráfico y aparecen agrupadas en la periferia identificadas con el color verde. El tercer nivel lo componen 28 temáticas equivalente al 15% del total de las categorías, se identifican por que aparecen de 1000 a 2000 veces, se ubican al centro del gráfico en color azul. El último de los grupos está representado por 16 temáticas señaladas en color amarillo equivalen al 12% de las frecuencias es el grupo mejor representado con 2000 y 3300 temáticas.

En conclusión las ingenierías son las que están mejor relacionadas con el resto de las categorías temáticas. Lo anterior, se explica como parte del desarrollo tan extraordinario que se está generando a nivel mundial, en particular los relacionados con las ciencias físicas, medicina y ciencias de la salud.

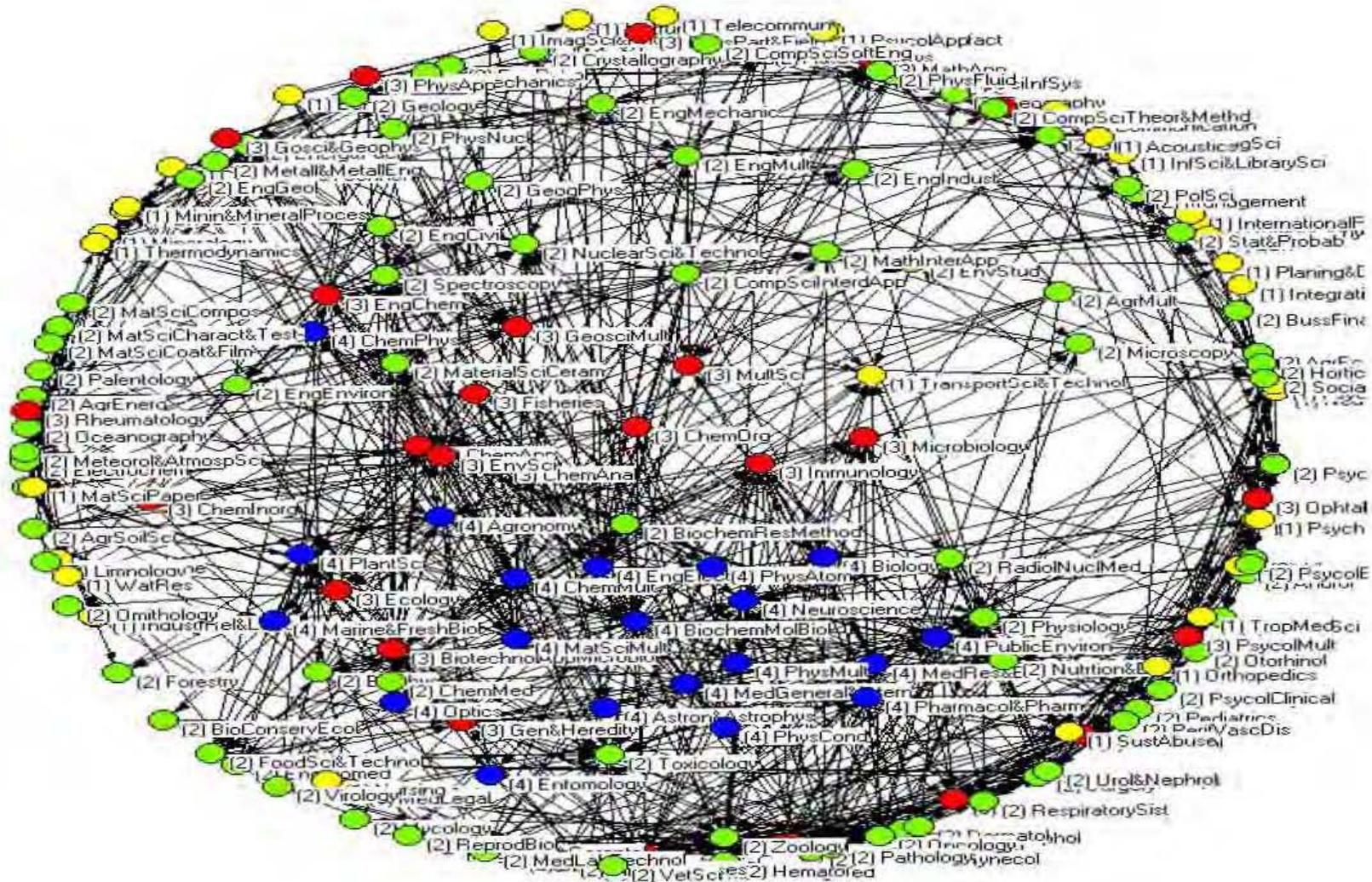


Figura 3-34. Categorías temáticas por distribución de frecuencias.

3.3.22. Tendencias en la investigación

Con la idea de identificar los principales temas de interés desarrollados por los investigadores del país durante los 25 años de análisis, se tomó en cuenta el análisis de minería de datos que arroja el sistema del CIE, en complementación con la desagregación de palabras aplicado a los títulos de los trabajos registrados en el SCIE para instituciones mexicanas. Particularmente para identificar los términos que con mayor frecuencia se repiten. Los resultados de este análisis son dados a conocer en la tabla 3-21, donde se muestra que las únicas palabras que se repiten en los cinco quinquenios son *Mexico* y *systems*, las que repercuten en gran parte de las áreas de investigación entre otras: salud pública, demografía, conservación, biodiversidad, ecología, ciencias sociales, psicología, ciencias políticas y computación.

De igual manera destacan *cells*, *children*, *síndrome*, *gulf*, que aparecen en cuatro de los cinco quinquenios estudiados. Las tres primeras palabras están relacionadas con medicina general e interna, biología, farmacología, psicología, psiquiatría, nutrición, neurociencias, patología, genética y herencia. En el caso del *gulf* está más orientado a cuestiones de estudios de oceanografía y ciencias marinas.

Crystal, *molecular*, *genetic*, *species*, *maize*, *water*, *films* estos términos están presentes en tres de los quinquenios y la mayoría de ellos únicamente aparecen en los últimos tres quinquenios. Esto quiere decir, por un lado que hay términos tradicionales en la investigación y otros de reciente integración retomados a partir del quinquenio 1990-1995. El primero de ellos forma parte de áreas como química analítica, orgánica y nuclear, física aplicada y en materia condensada, bioquímica y biología molecular. El segundo está dirigido a aspectos de hematología, astronomía y astrofísica, medicina general e interna, pediatría entre otras áreas de investigación. El tercero forma parte de las categorías de genética y herencia, bioquímica y biología molecular, neurociencias, etc. Por su parte *species* tiene que ver con biología marine, ciencia de las plantas, biología y ecología. *Maize* es un término que se relaciona en áreas como: agricultura, agronomía y química analítica. *Water* es

más relativo a ciencias de la atmósfera, astronomía y astrofísica, ciencia de los materiales, ciencias del mar y limnología, ciencias del ambiente y ecología. Por último *films* con ciencia de los materiales y física aplicada.

Tabla 3-21. Descripción de términos más frecuentes registrados en los trabajos.

TÉRMINOS MAS FRECUENTES				
1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004
Amebiasis	Cell	Age and Growth	Blood	Blood
Band	Chemical	Behavior	Calcium	Brain
Biosynthesis	Children	Chemical	Cancer	California
Cell	Clinical	Children	Carbon	Cancer
Children	Complexes	Chronic-Effects	Cell	Carbon
Clinical	Cristal	Electrochemical-Behavior	Cristal	Cell
Cosmological Models	D-Hydratase	Epidemiologic	Disease	Crystal
Disease	Electrical-Activity	Genetic	Electron-Electronic	Chemical
DNA-Synthesis	Enzyme-Activity	Growth	Energy	Children
Downs-Syndrome	Mass-Production	Osmotic	Films	Data
Electronic-Structure	Methods	Potentials	Experimental Physics	Disease
Entamoeba	México	Isign-Model	Galaxies	DNA
Granulosa-Cells	Molecular-Structure	Kinetic-Model	Gas	Dynamics
Gulf	New Species	Maize	Genetic	Energy
Liver-Cells	Patients	Membrane-Potential	Gulf	Entamoeba
Lymphoma-Cells	Pion-Production	México	Health	Films
Macromolecular-Synthesis	Models	Molecular	Infection	Experimental Physics
Malignant-Cells	Seismic Activity	Optical-Potential	Laser	Forest
México	Systems	Regulation	Magnetic	Gas
Models	Structures Atomics	Resistance	Maize	Genetic
New-Synthesis	Syndrome	Simple-Model	Male	Gulf
Overtraining-Induced	Systemic y Tau-Lepton	Species	Molecular	Health
Patients	Theoric-Model	Syndrome	Nonlinear	Histolytica
Pentylenetetrazol-Induced		Systems	Optical	Infection
Population-Structure		Films	Plant	Isolated
Properties		Water	Plasma	Kinetics
RNA-Synthesis		Wheat	Population	Laser
Species			Protein	Magnetic
Stochastic Model			Quantum	Maize
Syndrome			Solar	Mass
Synthesis			Sol-Gel	México
Systems			Surface	Molecular
			Syndrome	Nonlinear
			Systems	Optical
			Temperature	Patients
			Water	Plasma
			Women	Protein
				Quantum
				Reaction
				Receptor
				Region
				Risk
				Soil
				Solar
				Species
				Systems
				Temperature
				Theoretical
				Thermal
				Tropical
				Water
				Women

El resto de los términos aparecen solamente en uno o dos quinquenios sin embargo, son frentes de investigación de gran impacto sobre todo en las áreas de medicina clínica y experimental, biología y genética, donde se está retomando con gran interés el tema del *cáncer*, *genética*, *DNA* y amibiasis. De igual manera sobresalen términos muy propios del campo de la física, química e ingenierías entre ellos *optical*, *solar*, *nonlinear*, *carbón*, *kinetics*.

Finalmente se puede apreciar que en los últimos dos quinquenios los términos que con más frecuencia son retomados en la investigación, esto seguramente, es producto de la especialización de algunas disciplinas y de temas que vuelven a surgir con cierta relevancia para el desarrollo de la sociedad.

Referencias citadas

- ATLAS DE LA CIENCIA MEXICANA (2009).** La ciencia en México. México. Disponible en: <http://www.atlasdelacienciamexicana.org/>, (abril, 2009).
- BONILLA, M. Y PÉREZ-ANGÓN, M.A. (1999).** Revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica. *Interciencia*. 24 (2): 102-106.
- CARVAJAL, R. y LOMNITZ, L. (1981).** El Desarrollo Científico en México: ¿Es Posible Multiplicarlo con los Mismos Recursos? *Ciencia y Desarrollo*, 7 (37): 90-98.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1998).** Indicadores de Ciencia y tecnología. México: CONACYT.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1996).** Indicadores de Ciencia y tecnología. México: CONACYT.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1995).** Indicadores de Ciencia y tecnología. México: CONACYT.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1990).** Indicadores de Ciencia y tecnología. México: CONACYT.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (1990).** Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica. México: CONACYT. Disponible en: http://www.conacyt.mx/Indice/Index_Indexe.html, (Noviembre, 2009).
- CORTÉS, H.D., DEL RIO PORTILLA, J.A., GARCIA, E.O. AND ROBLES, M. (2006).** Web Applications to Profiling Scientific Institutions through Citation Mining. *Transactions on Engineering, Computing and Technology*, 14(August): 1305-5313.
- DE LA PEÑA, J.A. (2007).** Envejece en México el gremio académico. *Planeta Azul, Periodismo Ambiental*, (junio 2007), 1 p.
- ELÍAS-TREVIÑO, G. (2006).** El posgrado y la política pública, Tesis de Maestría, FLACSO. México, 200 p.
- FUNDACIÓN ESTE PAÍS (2008).** México ante el reto de la economía del conocimiento. México: *Fundación Este País*, p 30.
- GARCÍA DE JALÓN, J., RODRÍGUEZ, J.I. y VIDA, J. (2005).** Aprende Matlab 7.0: como si estuviera en primero. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industriales, 128 p.

- GORBEA-PORTAL, S. (2005).** El modelo matemático de Lotka: su aplicación a la producción científica latinoamericana en ciencias bibliotecológicas y de la información. México: UNAM, CUIB, 180 p.
- GORBEA-PORTAL, S. (1996).** El modelo matemático de Bradford: su aplicación a las revistas latinoamericana de las ciencias bibliotecológica y de la información. México: UNAM, CUIB, 40 p.
- CARVAJAL, R. Y LOMNITZ, L. (1981).** El desarrollo científico en México: ¿es posible multiplicarlo con los mismos recursos? *Ciencia y Desarrollo*, 90: 90-98.
- LÓPEZ, M. (2006).** Revistas académicas electrónicas en México: un camino para resistir o desistir ante el reconocimiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. *Razón y Palabra*, (mayo 6): 1-12.
- LUNA-MORALES, M.E. Y COLLAZO-REYES, F. (2007).** Análisis histórico bibliométrico de las revistas latinoamericanas y caribeñas en los índices de la ciencia internacional. *Revista Española de Documentación Científica*, 30 (4): 523-543.
- LUNA-MORALES, M.E Y RUSSELL, J.M. (2009).** El uso de nuevas tecnologías de información: el caso de la física mexicana de partículas y campos. México: UNAM, CUIB. En prensa.
- MOLINA, J.L., MUÑOZ-JUSTICIA, J. Y DOMÉNECH, M. (2008).** Redes de publicaciones científicas. Un análisis de la estructura de coautorías. *Redes: Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 1(3), 1-15.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO (1993).** Manual de Frascati: propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental. París: CEDES, 340 p.
- PROGRAMA NACIONAL DE BECAS PARA LA EDUCACION SUPERIOR (2006).** El papel de la investigación y la innovación en la educación superior. México: Pronabes, pp. 146-155.
- PRUD-HOMME, R (1997).** Los peligros de la descentralización, federalismo y desarrollo. *BANOBRAS*, Año 10 (Octubre, Noviembre, Diciembre), 1 p.
- SAAVEDRA-FERNÁNDEZ, O. (1995).** La producción hemerográfica en ciencias de la salud: estado actual y perspectivas. *ACIMED*, 3(2): 13-23.

- SANTOS-VALLE, J.L. (1997).** Sobre el Programa de Mejoramiento del Profesorado de las IES (PROMEP). *Gaceta Universitaria de la Universidad de Guadalajara*, (septiembre 29), p. 13.
- SONNENWALD, D.H. (2007).** Scientific Collaboration. *Annual Review of Information Science and Technology*, (41): 643-681.
- THOMSON REUTERS (2007).** ISI Web of Knowledge transforma la investigación. Disponible en: <http://www.isinet.com>, (May, 2007).

CAPITULO 4

Discusión general

La ciencia mexicana ha logrado importantes escalamientos, sobre todo a partir de los años 70 con la creación del CONACYT que trajo como consecuencia el reconocimiento por parte del estado, de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México. Esto quiere decir que nos estamos refiriendo a una ciencia relativamente joven con crecimientos y desarrollos continuos que alcanzan su consolidación en todos los sentidos durante la década de los años 90. Así lo indican las diferentes tablas y figuras incluidas en esta tesis donde se advierte que la ciencia mexicana tanto en forma anual, quinquenal y por decenio, ha logrado ascensos considerables. Lo que le ha valido para ubicarse entre los 20 países a nivel mundial con mejor crecimiento científico de acuerdo con la variación absoluta de la producción durante el periodo de 1997-2002, y entre los diez mejores según sus valores porcentuales (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2007). Esto ocurre a pesar de los escasos recursos asignados para su desarrollo, del reducido número de investigadores per-cápita que hay en el país y la desarticulación de las instituciones de educación superior con el sector productivo, derivado de una inexistente cultura de innovación de la ciencia y la tecnología (Zebadúa, 2008). Lo que indica, que la comunidad científica mexicana encontró un esquema de organización de producción que ha funcionado, dando lugar a importantes incrementos que han ayudado a sostener los crecimientos actuales, sin importar la baja asignación en el producto interno bruto (PIB) para ciencia y tecnología, y las alteraciones que en el mismo provocan los distintos estados de desarrollo de la economía del país.

Forman parte de estos desarrollos los cambios en las estructuras de producción, entre otras las instituciones que juegan un papel fundamental en el

progreso que la ciencia mexicana ha alcanzado. Según los resultados del presente estudio a nivel local, las instituciones que crecieron en número y en ubicación geográfica, son principalmente aquellas pertenecientes al sector privado entre las que destacan: empresas, escuelas, fundaciones, clínicas y hospitales, así como asociaciones y sociedades académicas, instancias gubernamentales y organizaciones internacionales con sede en México. Sin embargo, dichos crecimientos nada tienen que ver con el aumento de la producción e impacto científico del país, aun cuando se incrementaron al doble y triple durante el periodo de estudio, se trata de instituciones con aportaciones únicas de 1,2 y 3 trabajos registrados en revistas de corriente principal; estas instituciones representan el 77% del total de las identificadas en el ámbito nacional pero dan a conocer únicamente el 1.8% de la producción y reciben un escaso 1.4% del total de las citas registradas en el SCIE para nuestro país. En otras palabras, la producción e impacto científico nacional está sostenido en únicamente un 23% de las instituciones, entre ellas, las de mayor tradición científica consideradas como punta de lanza de la ciencia mexicana; destacan las de educación superior, los centros de investigación incluidos los del CONACYT, institutos tecnológicos y del sector salud. En este sentido el efecto de crecimiento que muestra la ciencia mexicana se debe particularmente a la consolidación de las estructuras de la investigación científica de gran parte de estas instituciones, reconocidas en el ámbito nacional, regional e internacional por las aportaciones en el trabajo de investigación.

En parte estos crecimientos de la producción e impacto tienen que ver con una serie de eventos ocurridos entre 1980-2004, entre ellos, iniciativas y programas que a nivel federal y estatal se implementaron para contribuir a mejorar el desarrollo de la ciencia en México. No obstante que algunos se originaron en los años 80, surten efecto real durante los años 90 dando lugar a progresos extraordinarios como por ejemplo, en la descentralización y regionalización del CONACYT, así como en la creación y fortalecimiento de algunos de sus centros. De igual manera se reforzaron las becas y los programas de posgrado, surgió el Programa de Mejoramiento del Profesorado de las Instituciones de Educación Superior (PROMEP), y se creó el SNI que en conjunto contribuyeron a mejorar las condiciones para el progreso de la ciencia nacional. Esto se

manifiesta a través de los crecimientos logrados durante el periodo de estudio, y por los avances que presentan las instituciones de investigación sobre todo, los centros CONACYT y las dependencias de educación superior. Estas últimas lograron avances mediante las modificaciones realizadas por el PROMEP, creado en 1996 con un objetivo original que busca: impulsar la formación de los estudiantes de educación superior, universitaria y tecnológica, para ello, consideran indispensable contar con un principio fundamental que consiste en una sólida formación académica del profesorado. El programa pretende lograr que las instituciones mexicanas de educación superior alcancen niveles de calidad internacional (Santos-Vale, 1997). De alguna manera las iniciativas alcanzaron ciertas metas como se muestra en la figura 3-24; las universidades estatales a partir de la segunda mitad de los años 90 están compitiendo con el sector salud por el segundo lugar como sectores de mayor producción en el ámbito nacional, e incluso hay años donde uno y otro se disputa la posición. Los centros CONACYT presentan una situación similar, y tienen como principal competidor al Cinvestav, con quien disputa por la cuarta posición como principales sectores productivos a nivel nacional. Sin embargo, en citas tanto los centros CONACYT como las universidades estatales no logran superar el 6% y 5% respectivamente, lo que quiere decir, que aún no logran impacto entre la comunidad científica nacional e internacional.

Por otro lado, no se puede negar que México mantiene un patrón de crecimiento muy dependiente de las circunstancias económicas, políticas y educativas que se producen en el ámbito nacional, lo que muchas veces contrasta con los esfuerzos aislados que los grupos de investigación realizan para sacar adelante a la ciencia mexicana. Esta dependencia de los recursos asignados por el Estado coloca a la ciencia mexicana en una situación de constante dependencia con respecto a la forma en que se manifiesta la economía del país. Si a esto agregamos que desde la década de los años 70 se registra una crisis por decenio afectando el porcentaje del PIB asignado para ciencia y tecnología, alejándolo cada vez más de los estándares mínimos recomendados de 1.0 para los países con economías en progreso (Amador-González, 2009; UNESCO, 2003).

Una situación similar ocurre, según la OCDE, en la clasificación de investigadores dedicados a la investigación que apenas registra el 2.5 por cada mil habitantes, sin olvidar la escasa participación en la vinculación universidad-empresa, otro rubro en el que también aparece en los últimos lugares dentro de los países de la OCDE (Drucker-Colín, 2008). Esto último que en otros países es como una moda, en México es una necesidad cada vez más urgente por las ventajas que ofrece en términos económicos, a través de un esquema donde hay beneficios para los participantes. Aun cuando hay autores como G. Zerecero-Valderrama (2007) que ven difícil que esto ocurra por la gran diversidad de instituciones educativas que se encuentran en el país, y por la brecha tan grande que existe entre ellas.

En este contexto de pocas alternativas y grandes adversidades se ha venido desarrollando y consolidando la ciencia mexicana, dando lugar de acuerdo con los resultados mostrados en este trabajo a los siguientes patrones generales de comportamiento.

4.1. Periodos de crecimiento y colaboración científica

La década de los años 80 es una época de crisis financiera y económica para México, de escasos recursos para todos los sectores del país, y seguramente una de las causas que no permitieron se rebasara el promedio de 1 335 trabajos y 13 099 citas por año, aun cuando la creación del SNI jugó un papel fundamental en este periodo, sobre todo, para evitar la migración de los investigadores hacia otros países. En general, los investigadores que se quedaron en el país, en colaboración con las instancias responsables de generar políticas científicas y las instituciones de investigación, supieron hacer frente a un periodo de escasos recursos y lograron sostener la producción científica del país en forma ininterrumpida durante los años de crisis. Esto indica que encontraron una forma de crear condiciones para el desarrollo de la ciencia en México. Lo anterior también hace suponer que durante este periodo sucede un proceso de arraigo y gestación de la ciencia mexicana que repercute con mejores resultados en la época de los años 90, donde se muestra una consolidación en todos los aspectos.

A pesar de las desventajas que registra la década de los años 80, ésta reporta el mejor promedio de citas por trabajo publicado, debido a la presencia de trabajos altamente citados que combinado con un menor número de trabajos publicados ayuda a conseguir un promedio más alto. No obstante que en los otros periodos también existen trabajos muy citados, de hecho los más altamente citados de todo el periodo de estudio, sin embargo, también crece el número de trabajos y esto provoca que no se alcance el promedio de citas por trabajo reportado en los años 80. Para igualar este promedio se tendrían que publicar trabajos aun más citados, de tal manera que el esquema tendría que ser proporcional, es decir, se generan más trabajos pero también más citados.

Esta situación se explica de mejor manera a través del análisis por quinquenio, donde los correspondientes a 1990-1994 y 1985-1989 aparecen con los mejores promedios 10.5 y 9.9 citas por trabajo publicado, respectivamente. La situación sigue siendo provocada por la existencia de trabajos identificados como los más citados; realizados en colaboración científica a nivel internacional pertenecientes a diversas instituciones de adscripción y áreas de investigación incluidas las Big Science, donde se comparten espacios, tecnologías y recursos no sólo de laboratorio sino también de información (Luna-Morales y Russell, 2009). No obstante, los últimos quinquenios (1995-1999 y 2000-2004) que tienen trabajos altamente citados, incluso el más citado con 2 700 citas, desarrollado en el Centro de Ciencias Genómica de la UNAM, no ayudan a levantar los promedios de citas. Como tampoco lo hace el 29% de trabajos que en estos quinquenios registran cero citas. A lo anterior hay que agregar la influencia que ejercen los resúmenes de congresos que en los últimos 10 años casi se duplicaron, identificados como el segundo tipo de publicación elegido por la comunidad científica mexicana para publicar. El inconveniente es que no son muy citados, únicamente consiguen el 0.2% del total de las citas acumuladas, todo lo contrario de las cartas, notas y revisiones que con menos publicaciones consiguen promedios altos de citas, sobre todo, las revisiones que acumulan el 7.3% de las citas registradas en el SCIE para México.

Otro aspecto que seguramente influye en los promedios de citas por trabajo, es el incremento de publicaciones que se produce entre una década y otra. Esta situación es más conocida como ley del crecimiento exponencial citada por D. De Solla Price (1963), en la que hace referencia a un fenómeno que está ocurriendo desde los años 50 donde se advierte un crecimiento exponencial de la literatura científica publicada a nivel mundial; dicho crecimiento es tal que cada 10-15 años la información existente se duplica, aunque todo está en función del área de investigación que se trate. De alguna manera este incremento es provocado por la diversificación y distribución de los grupos de investigación, que a su vez, producen un aumento en el número de instituciones, investigadores, revistas y trabajos de investigación. En un sentido similar, O. Saavedra-Fernández (1995) confirma que actualmente, en el ámbito mundial se está produciendo una acumulación de publicaciones y trabajos científicos, que resultan imposibles de recuperar y más complicado leer toda la información que se está produciendo aun en campos muy específicos. Lo que quiere decir que la ciencia mexicana tiene que competir con la mejor del mundo; en este caso, será más leída la de mayor visibilidad, la publicada en revistas internacionales con amplia circulación. De acuerdo con los resultados, los científicos mexicanos tienen grandes probabilidades de ser leídos y citados porque dan a conocer el 93% de sus publicaciones en revistas de cobertura internacional editadas en el idioma por excelencia de la ciencia, el inglés. Además están integrados a líneas de investigación de frontera y de impacto mundial, ligados a la colaboración científica establecida con distintos países, instituciones y centros de investigación a través de alguna de las varias formas de colaboración que actualmente existen: (1) enfoque disciplinario, cuya colaboración se divide en distintas formas: intra, inter, cross, multi y transdisciplinaria, el término aplica según el rol de las disciplinas científicas en colaboración; (2) enfoque geográfico, la localización geográfica de los investigadores juega un papel determinante en la colaboración, es por ello que es de las formas más comunes; (3) enfoque organizacional y comunidad, está orientada a la colaboración universidad – industria; (4) enfoque económico, consecuencia de los altos costos de la instrumentación científica, o las sucesivas generaciones de tecnología; (5) enfoque político, se trata de políticas nacionales e internacionales que influyen en la colaboración, sobre todo,

cuando los beneficios repercuten a más de un país. O bien, cuando los apoyos económicos provienen de organismos internacionales como la OCDE; (6) enfoque científico, oportunidades para descubrir nuevos conocimientos y resolver problemas complejos, para ello se juntan muchos investigadores provenientes de diversas instituciones y países (Yopadhyay, 2001).

La colaboración científica constituye un aspecto que siempre será cuestionado, porque se pondrá en duda la razón por la cual se colabora, y tradicionalmente se utiliza como un medio para lograr visibilidad; no obstante que generalmente se interpreta de esta forma, no siempre será con este fin. La colaboración también es un medio para el aprendizaje, sobre todo, en la colaboración interdisciplinaria, conocida como una de las formas más efectivas de transferir conocimiento. En este sentido, los investigadores aprenden del trabajo en común dando lugar a nuevo conocimiento y a la adquisición de nuevas metodologías de trabajo con el uso de herramientas y tecnologías novedosas. Además del acercamiento con científicos reconocidos y expertos en temas específicos de investigación (Solomon, Bound, Leontios and Staron, 2001; Russell, 1995).

Los investigadores movilizan una gran diversidad de objetos materiales por medio de los cuales interactúan con la naturaleza y se comunican con otros actores sociales (Martínez-Miranda, 2004). A la vez que ponen en comunicación diversos individuos, grupos y sectores de la sociedad, dando lugar a la internacionalización de la ciencia y la tecnología, entendida como el resultado de procesos que de manera espontánea e inducida tiene cada vez más relevancia en la conformación y organización de las comunidades científicas, en el modo de producción del conocimiento y la tecnología, en sus mecanismos de difusión, transferencia y comercialización, así como en la interacción entre actores (Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana, 2007). En este sentido, como lo muestran los resultados dados a conocer en el presente trabajo, la ciencia mexicana sostiene un alto nivel de internacionalización originada por la propia dinámica de formación de los investigadores, de la naturaleza de los procesos de la investigación, la difusión del conocimiento científico, así como las áreas y disciplinas de

investigación. Además de otros factores particularmente internos y contextuales que también influyen como la interdisciplinariedad de la investigación y la problemática de la misma, los requerimientos de infraestructura y equipo para su desarrollo, lo que en muchos casos conduce a la integración de grandes grupos en colaboración (Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana, 2007).

Aunque no todas las áreas y disciplinas aplican la colaboración por igual, en México la disciplina que mayor colaboración científica registra es la física (30.7%), al igual que medicina y ciencias de la salud (23.1%), ciencias biológicas (17.7%) e ingenierías (10.5%). Según A.K. Yopadhyay (2001), la colaboración es más propia de aquellas disciplinas de carácter científico más que en ciencias sociales y en humanidades; por eso en su estudio aplicado sobre todas las áreas del conocimiento sobresale por su alta colaboración la física (62,24%), ingeniería mecánica (36,6), matemáticas (36,3), por un grado menor, filosofía (12,3) y ciencias políticas (3,8). La presencia en ambos casos de la física muestra que es una disciplina de arraigo a nivel mundial. La alta colaboración de estas disciplinas se explica en función de que son áreas de investigación que abordan aspectos de salud y bienestar para la sociedad; en estas los científicos están orientados a identificar enfermedades: sus causas, su desarrollo y cura. De igual manera, se cubre investigación en aspectos biológicos y genéticos, áreas que están cobrando gran importancia por los ventajas que ofrecen a la sociedad; además de las investigaciones en cuestiones ecológicas donde se aborda el estudio a distintos niveles, y recobran interés por los efectos que están produciendo en los ambientes climáticos del planeta y la forma en que perjudican a la población y a las ciudades (Sonnenwald, 2007). Las ingenierías se han convertido en pieza fundamental de las actividades de la vida humana, es por ello que mantienen mayor interdisciplinariedad. Por último, las ciencias físicas, en especial las altas energías, astrofísica y astro-partículas están identificadas al igual que la biomedicina y la biología molecular como las mejor adaptadas al tipo de colaboración multi-institucional, por la accesibilidad a los recursos de distinto índole (laboratorios, maquinaria y documentación) consideras las más caras de todas por el desarrollo tecnológico que implican. Para su desarrollo se requiere

de enormes laboratorios completamente equipados entre los que se pueden citar: Environmental Molecular Sciences Laboratory (EMSL), Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) y National Center for Research Resources (NCRR), European Organization for Nuclear Research (CERN). La investigación requieren de la incorporación de grandes grupos conformados por científicos, técnicos e ingenieros; así como la disposición de enormes bases de datos desarrolladas específicamente para compartir los recursos documentales (Luna-Morales y Russell, 2009; Yopadhyay, 2001).

En términos históricos, las tendencias en la colaboración científica internacional comenzaron a tomar forma de manera más constante a partir de la década de los años 1950-1960, principalmente en las áreas de la física, matemáticas, fisiología, ingeniería mecánica e industrial, filosofía y ciencias políticas. De 1951-1960 predominó la colaboración de la ingeniería mecánica. Entre 1971-1980 se sobrepuso la filosofía, y de 1961-1970 las ciencias políticas. A partir de la década de los años 80 son los tiempos principalmente de la física, las matemáticas y la fisiología (Yopadhyay, 2001). Estos incrementos de colaboración están relacionados con las nuevas formas de hacer ciencia desarrollada principalmente durante y después de la segunda guerra mundial, cuando se produce una proliferación de las especialidades y sectores acotados investigados en profundidad. La especialización del conocimiento es un proceso sin fin (Olvera-Serrano, 1993), se empieza a intensificar durante la segunda mitad del siglo XX, y con mayor intensidad en los años 90, periodo en que se sobreponen las necesidades en la colaboración científica consecuencia de distintos motivos entre ellos: el desarrollo de grandes proyectos de investigación, y el incremento en los costos de la misma, la construcción de las herramientas de laboratorio cada vez más ligada al desarrollo científico tecnológico y el acceso a los recursos de información. Forman parte de las tendencias de colaboración los convenios establecidos a nivel de disciplinas y áreas de investigación, como el que mantienen los físicos mexicanos del área de partículas y campos con los principales laboratorios del mundo donde hay acelerados y detectores de partículas como Fermi National Laboratory (Fermilab), CERN y Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), para enviar

estudiantes mexicanos a formarse directamente en estos laboratorios (Zepeda-Domínguez, 1998).

En algunos casos los convenios incluyen la participación a través de fondos económicos por ejemplo, el gran telescopio Canarias, que es una iniciativa española liderada por el Instituto de Astrofísica de Canarias, contó con el apoyo del Estado español y con los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y de la comunidad europea. Además de la participación de México mediante el Instituto de Astronomía de la UNAM y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), así como de EUA por medio de la Universidad de Florida, que contribuyeron con el 5% de la inversión para la materialización del proyecto (Aretxaga, 2008; Rivera, 1999).

Por otro lado, nuestro país también mantiene convenios bilaterales de cooperación científica-tecnológica establecidos con los siguientes países: Francia, Inglaterra, España, EUA y Canadá donde el objetivo primordial es desarrollar proyectos de investigación y fortalecer el desarrollo tecnológico e innovación entre empresas, instituciones y centros de investigación (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2009). Esto explica los altos porcentajes de colaboración científica que sostienen instituciones mexicanas principalmente con universidades, instituciones, centros y laboratorios de investigación de los países previamente mencionados.

Entre otros convenios están los establecidos con los países latinoamericanos y del Caribe entre los que destacan Brasil, Argentina, Cuba, Colombia y Chile. Parte de esta colaboración es gracias a la relación que se mantiene entre investigadores que colaboran a nivel multi-institucional; pero también hay presencia de convenios apoyados por organismos regionales e internacionales entre otros: la Organización Panamericana de la Salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la UNESCO, la OEA y la OCDE donde generalmente se involucran en colaboración varios países, instituciones de educación superior y salud pública, institutos y centros de investigación.

4.2. Idioma, tipo y fuentes de publicación

El inglés es el idioma más utilizado para publicar, los investigadores del país están conscientes que al escribir en el idioma internacionalmente aceptado para la ciencia van a ser más leídos, lo que proveerá un mayor número de lectores que a su vez promete probabilidades de ser citados. De igual manera usan el artículo científico como principal medio para dar a conocer los resultados de la investigación (82%) como se muestra en análisis a través de revistas con amplia cobertura de audiencia. Entre éstas sobresalen siete de edición local y de alta frecuencia de publicación. La mayoría de ellas pertenecientes al área de medicina y ciencias de la salud, física, astronomía y astrofísica y psicología; los títulos corresponden a las áreas y disciplinas científicas más productivas del país. Sin embargo, estas revistas nacionales no aparecen como las más citadas, al contrario, por las escasas citas que logran generalmente se ubican en los últimos lugares dentro de sus respectivas categorías temáticas (JCR), o bien, son dadas de baja de los índices del Institute for Scientific Information (ISI) porque no logran incrementar su FI. De acuerdo con E. Loría (2000) esta situación está asociada con aspectos extra académicos que tienen que ver con: (a) la falta de recursos económicos para promoción y distribución de las publicaciones como las hay en los países sajones; (b) formar parte de uno de los países con idioma español; (c) la tendencia en América Latina a ignorar la producción en español.

La *Rev Mex Astron & Astrofis* constituye una excepción, ya que en 2004, logró un factor de impacto (FI) de 3.296, que la colocó, según el Journal Citation Reports (JCR) en la posición 12 de las 45 listadas en la categoría de astronomía y astrofísica. Sin embargo, en 2007 su FI bajó a 1.344 y la ubicó en la posición 27 de las 48 que integra la lista de categorías. A pesar de que bajó su FI, sigue siendo de las pocas revistas mexicanas con el más alto FI, lo que le da la oportunidad de competir con las revistas del área en el ámbito internacional.

Por su parte F. Collazo-Reyes, M.E. Luna-Morales, J. Russell y M.A. Pérez-Angón (2004), hacen referencia a la presencia de 17 títulos de revistas mexicanas vigentes, dadas de alta en los índices del ISI durante los años de 1900-2004 de los cuales, tres corresponden al área de agricultura, biología y

medio ambiente, una es de biomedicina, cuatro de ciencias exactas y de la tierra, una de ingeniería, una de biomedicina, cinco de ciencias sociales, y dos en la disciplina de artes y humanidades. Es muy probable que el esfuerzo emprendido durante los años 90 por el CONACYT para revisar, definir e integrar un Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica tuvo que ver en la incorporación de nuevos títulos en los índices del ISI, lo que se busca es mejorar la calidad de las revistas a través de la evaluación de distintos criterios de edición, garantizando también el financiamiento de las mismas (Loría, 2000), a fin de contribuir en la difusión de la ciencia mexicana publicada en revistas locales impulsando con ello la presencia internacional (Bonilla, y Pérez-Angón, 1999).

Vinculado a lo anterior está el idioma de publicación, de acuerdo con los resultados del estudio, el español con 8% del total de trabajos publicados se mantiene como segunda lengua de difusión entre los investigadores mexicanos. Este es un tema muy polémico discutido tanto en eventos nacionales y regionales como en publicaciones, donde se ha comentado sobre el sentir que algunos investigadores tienen en relación a la publicación en revistas mexicanas y latinoamericanas (Loría, 2000; Cetto, 2000; Haupt, 2000), sobre todo, cuando son evaluados tomando como indicador base la publicación en fuentes internacionales y en inglés, que les da mayores probabilidades de ser leídos y conseguir citas.

Finalmente es parte de esta discusión la identificación de un alto porcentaje (8.8%) de resúmenes de congresos publicados, donde sobresale por su producción el *Abstracts Pap Amer Chem Soc*. Sin embargo, únicamente recuperan el 0.2% de las citas acumuladas para México en el periodo de analizado. Es por ello, que no se recomienda hacer demasiado uso de este medio de publicación, pues, además de que no son citados incrementan la producción haciendo poco equitativos los conteos en revistas, instituciones, entidades federativas, disciplinas científicas y sectores.

4.3. Modelo matemático de Bradford y Lotka

Las bases científicas de la bibliometría radican en sus leyes bibliométricas: Bradford, Lotka y Zipf, también conocidas como modelos matemáticos aplicados para determinar el comportamiento de la información documental, tales como la concentración-dispersión de la información contenida en las fuentes de publicación, la productividad de los autores y el volumen de los textos a partir de las frecuencias de palabras (Gorbea-Portal, 1996, 2005). Estos modelos forman parte de la bibliometría clásica y por ello su aplicación no puede faltar en un estudio como éste que intenta reflejar los aspectos históricos de la ciencia mexicana. En este sentido, el cálculo matemático aplicado a las revistas y trabajos publicados confirma la comprobación del postulado de Bradford. Es decir, la mayor parte de la producción científica que dan a conocer las instituciones mexicanas se difunde a través de un número muy reducido de revistas (82) que en promedio publican 321 trabajos por revista, entre ellas destacan las correspondientes a las áreas de física, astronomía, biología, química y medicina; tal como lo muestra las figuras 3-21 y 3-9 que registran crecimientos importantes en las disciplinas científicas y revistas. Sobre todo la segunda que da a conocer las 15 revistas identificadas por quinquenio con más alto número de artículos publicados, registradas en la primera zona de revistas que determina el modelo de Bradford por su alta concentración de trabajos publicados.

Por otro lado, el hecho de que 4 814 revistas dan a conocer en promedio cinco trabajos, advierte que se trata de revistas que mantienen algunas de las siguientes situaciones: (1) muy recientes, apenas empiezan a hacer camino en la publicación, (2) muy especializadas, (3) de poca continuidad en la investigación, (4) se dieron de baja.

La aplicación de esta ley ofrece excelentes ventajas particularmente en el área de bibliotecas, donde es considerada un instrumento de gran importancia para la evaluación de fondos documentales y la integración de colecciones a la medida de las necesidades de las comunidades científicas.

Alfred James Lotka desarrolló su ley o modelo matemático en 1926 al analizar la producción científica de los autores del área de física y química registrados

en el Auerbach's *Geschichtstafeln der Physik*, dando lugar a una de las aportaciones metodológicas más significativas en el campo de la bibliometría. Al aplicar este modelo a los autores del presente estudio, el postulado se cumple dado que se ajusta al 60%, que quiere decir que el 60% de los autores publica un solo trabajo. El postulado de Kolmogorov-Smirnov no se ajusta al de Lotka; sin embargo, en el gráfico de autores observados y autores acumulados es evidente que se ajustan muy bien, excepción de la dispersión que producen algunas agrupaciones de autores.

Es importante aclarar que el desarrollo de ambos modelos toma en cuenta la muestra total de revistas y autores, cuando en ambos casos lo recomendable es aplicarlos en áreas específicas de investigación. De alguna manera, esto afecta el comportamiento de los datos, no tanto en el Bradford cuyo gráfico es perfecto; pero sí en el Lotka donde se advierte más dispersión.

Desde sus orígenes estas leyes han sido muy criticadas de distintas formas, algunas de manera positiva y otras negativas. No obstante, bien o mal, constituyen una base fundamental de la bibliometría, sus aplicaciones contribuyen a determinar los flujos que sigue la información en un tema particular (Gorbea-Portal, 2005).

4.4. Descentralización y desconcentración de la ciencia en México

Los patrones de producción e impacto que muestran las entidades federativas relacionados con las etapas de evolución y consolidación de su actividad científica, permiten determinar que existe la presencia de dos distintos esfuerzos: (1) los realizados por las instituciones y grupos de investigadores del país que generalmente están detrás de la propuesta de desconcentración de las áreas de investigación; (2) los que son consecuencia de distintos acontecimientos o eventos ocurridos durante el periodo de estudio, sobre todo, a partir de los años 90, periodo de mayor crecimiento de la ciencia en México. Es claro que se trata de una de las etapas más estables en términos económicos, aun cuando está caracterizada como una época de crisis conocida como el *error de diciembre* (Jiménez de León, JR, 2005). De alguna manera esta estabilidad, en complemento con los esfuerzos desarrollados en

los años 80, permitieron generar las condiciones para construir los escenarios que contribuyeron a lograr los escalamientos mencionados. A esto hay que agregar la incorporación a la colaboración científica internacional que desde los años 90 está jugando un rol más intenso, sobre todo por la búsqueda de recursos, particularmente financieros, además de los deseos de colaborar con especialistas renombrados y el acceso a equipo de alta tecnología (Russell, Ainsworth y Narváez-Berthelemot, 2006). De acuerdo con los datos registrados en el presente estudio, el 44% de los trabajos están hechos en colaboración científica principalmente con instituciones extranjeras; dando lugar a un índice de coautoría de 1.44 autores por documento, y 0.33 documentos por coautoría múltiple. En total se identificaron 21 trabajos como los más altamente citados con más de 500 citas de acuerdo con los criterios aplicados por SPIRES-HEP. De estos 17 se realizaron en colaboración científica internacional, entre ellos sobresalen los desarrollados por la UNAM a través del Centro de Investigación y Fijación del Nitrógeno, hoy Centro de Ciencias Genómicas; la Facultad de Medicina, el Instituto de Investigaciones Biomédicas, Instituto de Fisiología, Instituto de Física. Además hay que mencionar los publicados por la SSA por medio del Hospital General de México, el Instituto Nacional de Cardiología, de Nutrición y de Enfermedades Respiratorias, así como el publicado por el IMSS mediante el Centro Médico Nacional la Raza; y el dado a conocer por el Cinvestav desarrollado en el Departamento de Física, entre otros particularmente de la UNAM y de las instituciones de salud. La mayoría de estos artículos fueron publicados durante los años 90 y 2000, excepto cuatro difundidos en 1980, 1981, 1987 y 1989; de éstos, dos se dieron a conocer en autoría única y los otros dos en coautoría entre dos y tres instituciones, respectivamente. Gran parte de los trabajos son publicados por autores que están en proceso de consolidación de su carrera, es por eso que apenas rebasan los 100 trabajos con aspiraciones de alcanzar más, según lo muestra la figura 3-4; se trata particularmente de investigadores con promedio de edad entre 40 y 55 años, son los autores que actualmente están soportando el crecimiento de la ciencia del país.

La producción e impacto por quinquenio y por entidad federativa ayudaron a identificar la presencia de tres diferentes grupos productivos: el primero,

integrado por las entidades federativas de mayor prestigio a nivel nacional e internacional. Se caracterizan por tener más años desarrollando actividades científicas, en sus senos se crearon los primeros institutos, laboratorios, universidades y hospitales donde se realizaron los primeros trabajos de investigación en todo el país, entre ellos: el DF, Jalisco, Nuevo León y Puebla. El segundo, corresponde al grupo de entidades consideradas o caracterizadas como de refuerzo; algunas prácticamente se integraron a la investigación durante el periodo de los años 80, la mayoría de ellas no alcanza el 3% de la producción y citas del total del país; salvo los casos de BC, Guanajuato, y Morelos que sí rebasan dicho porcentaje sobre todo el último, que actualmente es la segunda entidad federativa más productiva. Destaca también la presencia de BCS, Edo. México, Michoacán, SLP, Sonora, Veracruz y Yucatán. El tercer grupo, está conformado por las entidades periféricas o emergentes, en particular aquellas que apenas se están incorporando a la investigación, por eso no alcanzan el 1% de trabajos y citas. En este nivel están identificadas 17 entidades federativas. Los casos extremos los presentan Campeche, Nayarit, Guerrero, Oaxaca y Tabasco que en promedio producen cuatro trabajos y recuperan cinco citas por año de estudio. Esto quiere decir, que las iniciativas del CONACYT orientadas a promover el proceso de descentralización de la investigación científica en México no han surtido efecto en todas las entidades del país. Esto a su vez implica revisar los procesos y buscar otras estrategias que ayuden a incorporar en la investigación a las entidades más desprotegidas, menos reconocidas porque están en la periferia al no aportar ni siquiera el 1% de trabajos y citas. Además es necesario crear algún mecanismo que apoye a las entidades que están empezando a emerger a fin de conducir las a su consolidación definitiva, y que fortalezca el trabajo de las que hasta el momento son las más productivas.

Estos aspectos afectan el proceso de descentralización de la ciencia mexicana, a la vez limitan la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México. En valores absolutos el DF sigue siendo la entidad federativa que más producción registra. Sin embargo, en porcentajes como lo demuestran las figuras 3-10 y 3-14, la descentralización se está produciendo, sólo que es un proceso muy lento, en 25 años el DF ha reducido en 27% su publicación

científica con respecto al total de la producción nacional, y 32% las citas; mientras que el resto de las entidades federativas han incrementado sus niveles de producción y citas, e incluso, algunas lograron su consolidación en la actividad científica, por lo menos así lo señalan sus constantes crecimientos de producción y citas por quinquenio. Están identificadas como las más productivas: Morelos, Puebla, Jalisco, Guanajuato y BC. Es importante mencionar que detrás de estos esfuerzos de descentralización científica, también está presente el interés por la desconcentración de instituciones como la UNAM, el Cinvestav, el IPN, el ITESM, el IMSS y la SSA que generalmente han buscado la forma de extender sus espacios y líneas de investigación hacia el interior del país. Las primeras han sido identificadas en este estudio como las principales promotoras de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México a través de la implementación de sus distintos programas de posgrado en maestría y doctorado. Es por ello que se analizaron en forma independiente a fin de identificar el número de dependencias instaladas en los estados de la República Mexicana, así como los trabajos y citas para cada una de ellas.

La expansión de las instituciones obedece a distintos motivos: (1) la saturación de los espacios físicos; (2) el crecimiento de las áreas y grupos de investigación, así como la integración de nuevas líneas de estudio que traen como consecuencia la búsqueda de nuevos espacios; (3) el impulso a la descentralización de la investigación institucional con la creación de sedes periféricas vinculadas con las universidades estatales; (4) el fomento a los proyectos inter y multidisciplinarios, más orientada a fomentar la colaboración entre áreas de investigación (Russell, Ainsworth, Narváez-Berthelemot, 2006) ; (5) el apoyo a investigadores líderes, reconocidos por su alta producción y citas que aprovechan estas ventajas para solicitar la instalación de espacios exclusivos o más amplios para sus áreas de investigación en alguna de las entidades del país, sobre todo las más cercanas al DF.

Ligado a lo anterior, está el establecimiento de programas de posgrado, y que de acuerdo con J. Casillas-García de León y J. Hanel Del Valle (2008) existen diferentes razones para que esto ocurra: (a) para subsanar deficiencias en la

formación profesional de los egresados de una institución; (b) para incrementar el prestigio académico de una institución; (c) para la formación del personal especializado en áreas para las cuales existe un mercado de trabajo; (d) para responder a las necesidades del desarrollo social y económico de la región de influencia en la institución; (e) para el estudio de problemas de interés nacional. En el caso de la profesionalización e institucionalización en el ámbito nacional es muy difícil asegurar si estas razones son tomadas en cuenta, pero de acuerdo con los esquemas de descentralización que sigue el CONACYT para la integración de sus centros y la formulación de los programas de posgrado, se lleva a cabo un estudio de la región sobre todo para contribuir al desarrollo de la industria establecida en la región donde operaran dichos centros, que de hecho ésta fue la razón principal de su creación. Algo similar ocurre con el Cinvestav, la UNAM y el IPN, que también aplican un estudio previo del entorno donde se han instalado sus diferentes dependencias, y para el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos en el caso de los estudios marinos. En este sentido, la UNAM juega un papel primordial por la influencia que ha tenido en este proceso, sobre todo, a partir de la política aceptada por el Consejo Universitario aprobada en 1972 cuando se buscaba crear viabilidad, por un lado, a la universidad abierta y por otro, a resolver el problema de capacidad física que se estaba produciendo en el sector docencia e investigación. Esto culminó en la creación de un programa titulado *Planeación para el Desarrollo de la Investigación Científica de la UNAM*, el cual proponía tres acciones: (1) que la Ciudad Universitaria se dedicara a la investigación, posgrado y administración; (2) que la Ciudad Universitaria albergara la educación de pregrado, además del posgrado y la investigación; (3) finalmente aceptada, consistía en que la Ciudad Universitaria continuara abarcando todos los subsistemas y que además se convirtiera en semillero para crear nuevos campos en sitios cercanos al DF (Casanova-Cardiel, 2001). Actualmente, la UNAM con 51 programas de posgrado consolidados y reconocidos como de calidad, está presente en 16 entidades federativas del país. En cada una de éstas la UNAM ha instalado y ampliado sus dependencias, entre ellas sobresale el caso de Morelos que es donde más dependencias de la UNAM existen: el Instituto de Biotecnología (IBT), Centro de Investigación en Energía (CIE), Instituto de Ciencias Físicas (ICF), Instituto

de Matemáticas (IM), Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno, actualmente, Centro de Ciencias Geonómicas (CCG). Por su parte el Edo. De México alberga a las Facultades de Estudios Superiores: FES-Cuautitlán y FES-Iztacala. Sin embargo, aun cuando la UNAM integra 39 dependencias en el interior del país, y tres extensiones del Centro de Ciencias en Materia Condensada (CCMC), Instituto de Física (IF) y Observatorio Astronómico Nacional en San Diego y San Isidro California y Albuquerque Nuevo México, son más productivas las dependencias instaladas en el DF porque concentran los porcentajes de trabajos y citas más altos. De acuerdo con los datos de la tesis, la UNAM difunde el 38.6% de los trabajos publicados y 48.7% de las citas totales registradas en el SCIE para nuestro país. De éstas, el 31% se producen a través de sus dependencias instaladas en el DF las que recuperan el 37.6% de citas. Esto quiere decir que las dependencias localizadas en el resto de las entidades del país con aproximadamente 20% de investigadores (Atlas de la Ciencia Mexicana, 2009) dan a conocer el 7.6% de los trabajos y 11.1% de las citas, lo cual es de esperarse dado que en el DF están la mayoría de sus dependencias y recursos humanos dedicados a la investigación, además de las áreas de investigación pioneras en el país.

Por su parte el Cinvestav, al igual que IPN, también están presentes a través de sus dependencias en ocho y seis entidades federativas, respectivamente. Con 42 programas de posgrado reconocidos como de calidad para el primero y 25 para el segundo (Ruíz-Gutiérrez, Medina-Martínez y Bernal-Moreno, 2000). Al igual que la UNAM, buscan ampliar los grupos y áreas de investigación, así como liberar espacio físico a través de la desconcentración de algunas de las áreas de investigación. Sin embargo, muestran la misma situación que la UNAM, están desconcentrando la actividad científica pero aun así los grupos localizados en el DF siguen siendo más productivos. En el caso del Cinvestav, las unidades de provincia aportan el 20% de los trabajos y el 18% de las citas, producto del esfuerzo que realiza el 26% de la comunidad académica adscrita a este centro (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, 2004). El IPN por medio de sus dependencias ubicadas en el interior del país consigue 19% de trabajos y 18% citas, como parte del trabajo realizado por el 43% de la comunidad científica (Atlas de la Ciencia Mexicana, 2009). Es seguro que estas

diferencias tienen mucho ver con el arraigo y tradición de las áreas de investigación que se desarrollan en el DF y sobre todo a los investigadores que conforman los grupos de investigación, además muchos de ellos tienen una larga trayectoria científica y son reconocidos en todos los niveles y en todos los ámbitos. Esto puede explicar porqué instituciones como la UNAM, Cinvestav, IPN y la UAM son las que registran el mayor número de programas de posgrado aprobados; no obstante, reconocidos como programas nacionales de posgrado de calidad de competitividad a nivel internacional sólo destacan el Cinvestav con 25 y la UNAM con 18, entre otras instituciones como el Colegio de México con 7, CIESAS con 4, UDG y UG con 3 y CIO con 1 programa (Morales, 2009). Esto ayuda a entender quién ocupa los espacios primordiales en la educación científica, y el porqué de las diferencias en la participación productiva de las instituciones y entidades federativas del país.

La SSA y el IMSS con la instalación principalmente de hospitales centrales y regionales estatales se han posicionado en prácticamente todas las entidades federativas, donde se lleva a cabo parte de la investigación científica producida por este sector. No obstante, sus principales centros productores son los institutos de especialidades y hospitales centrales de alta especialidad ubicados en el DF entre ellos: los institutos nacionales de cardiología, de cancerología, de enfermedades respiratorias, de nutrición, de psiquiatría, de diagnóstico, de rehabilitación y referencia epidemiológica (Macías-Chapula, Mendoza-Guerrero, Rodea-Castro, Juárez-Sánchez y Gutiérrez-Carrasco, 2007), así como los Hospitales General de México y Juárez, el Centro Médico Nacional Siglo XXI y la Raza. Además de los hospitales del ISSSTE en particular el primero de octubre.

Tanto la SSA como el IMSS son casos extraordinarios, la primera es segundo lugar en producción y citas a nivel nacional, y la segunda ocupa la posición número cuatro, por encima de instituciones de educación superior y centros de investigación de renombre a nivel nacional, excepto la UNAM y el Cinvestav; es todavía más extraordinario por el hecho de que gran parte de sus investigadores no están integrados al SNI. Así mismo es una de las disciplinas de investigación con más amplia colaboración científica nacional e

internacional, sostiene coautoría con 123 países a través de 19 302 trabajos publicados, en particular con EUA, Inglaterra, España, Francia y Alemania. De igual manera registra fuerte relación de coautoría institucional con su propio sector público y el privado, con el educativo, los centros de investigación y con la industria en el país. En este contexto, la investigación en salud amerita un tratamiento por separado, no sólo por el 21% que en conjunto publican la SSA y el IMSS, sino también por la trayectoria ascendente que registran a lo largo del periodo de estudio.

Por último, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey (ITESM) en los últimos años ha incrementado su producción científica; esto se debe en parte a la instalación de nuevas sedes en prácticamente todas las entidades del país y, por otro, a la incorporación que tienen con el desarrollo de la industria del país, y que según R. Casas y M. Luna (2001), el ITESM se distingue como el mejor ejemplo de flujos establecidos con la empresa, a través de la investigación directa y la participación de sus estudiantes e investigadores en los problemas de la industria.

Para concluir con este apartado, se puede decir que se han realizado esfuerzos importantes en busca de la descentralización; no obstante, se requieren más y con mayor agresión sobre todo en las entidades donde no se ha trabajado lo suficiente, particularmente las del sureste mexicano, además de Nayarit identificadas con participación casi nula consideradas por ello como las más desprotegidas. Se trata particularmente de entidades turísticas a las que quizás se les apuesta más por esta vía, pero también son productoras de fruta y muchas veces se echa a perder por la falta de carreteras para su traslado y mercados para su venta. Aunado a esto la falta del desarrollo de industrias orientadas al proceso de frutas, donde podría funcionar muy bien la instalación de centros de investigación que orienten y apoyen a levantar la industria frutícola de la región, lo anterior con el apoyo estatal que por supuesto tendría que invertir para crear las condiciones. Esto ayudaría para que México levante su posición en el rango internacional donde no está muy bien posicionado. Según la OCDE nuestro país, a diferencia de los otros países miembros, muestra descenso en el financiamiento de la industria para la ciencia y la

tecnología que se realiza en las instituciones de educación superior; de hecho, es prácticamente nula y la proporción del gasto del sector de educación superior en investigación y desarrollo financiada por la industria alcanzó el 1.1%, uno de los niveles más bajo de gasto en este renglón entre los países de la OCDE (Zebadúa, 2008). Lo anterior se reitera a través de las redes de coautoría científica que se presentan en la tesis, donde se percibe una relación mínima entre el sector académico y la industria del país. Los casos donde esta relación tiene mayor presencia es a través de sectores como: instituciones de educación superior, el sector salud, el Cinvestav, Centros CONACYT, tecnológicos y el ITESM. Destacan por su grado de colaboración Hylsa, Motorola-Mex, Vitro, CEMEX, Abbot Laboratorios, NegroMex, Peñoles, IBM-Mex, AIMCOR-Mex y Aditivos Internacionales. Las relaciones más fuertes de colaboración se registran entre las instituciones de educación superior, institutos tecnológicos y centros de investigación como el Cinvestav, CONACYT y las instituciones de salud.

Relacionado al tema de la descentralización está el aspecto de regionalización, que de acuerdo con algunos autores es una herencia de la época de la colonia, una situación que ha generado diferentes desequilibrios en el desarrollo del país. P. Gómez y A. Cortés (1987) al respecto indican que el DF, como región centro, siempre ha recibido más ingresos que en el resto de las regiones. Es por eso que su nivel de progreso es tradicionalmente más alto comparado con el resto de las regiones. E. Hernández-Laos (1985) confirma lo anterior, al señalar que los indicadores de la actividad industrial y de productividad indican inequívocamente grandes diferencias regionales. Esto reafirma la existencia y localización espacial de varios México, término aplicado por distintos autores que advierten la presencia de un México denominado Mexamérica (norte), Mexicentroamérica (sur), y la ciudad-Estado (centro), dando lugar a una forma de caracterizar al país a partir de las regiones: norte, sur y centro (Kaplan, 1997; Cabrero-Mendoza y Mejía-Lara, 1998). Por su parte T. Bracho-González (1999) ubica según distintos indicadores como región sur a Chiapas, Guerrero y Oaxaca, caracterizadas como entidades con abismos realmente significados en todos los sentidos, sobre todo en educación. Actualmente hay cierto reclamo porque se generen políticas encaminadas a eliminar las desigualdades

existentes, dando mayor poder de solución a los gobiernos estatales y reparto de recursos más justos.

Por último, un tema que complementa lo anterior es el rumbo que está tomando la descentralización de la ciencia en nuestro país. Autores como V. Garza Almanza (2004) afirman que la descentralización no es más que un mito pues ésta ha caído nuevamente en la centralización a través de las entidades más cercanas al DF como Puebla, Morelos y Edo. México. Las dos primeras son las más productivas del país después del DF, a pesar de que Morelos, como se ha dicho, es una extensión de la UNAM, al igual que el Edo. México donde están instaladas dependencias de gran trayectoria científica y productiva. Puebla es por otro lado, una de las entidades preferidas por los grupos más fuertes de investigación del país, entre otros, los físicos, biólogos, químicos y médicos que a través de universidades y clínicas públicas y privadas han generado un crecimiento de la producción e impacto de la región centro del país. No hay que olvidar, en este contexto la valiosa participación del INAOE, uno de los centros CONACYT de mayor relevancia no solo en la región sino a nivel nacional.

4.5. Los impactos de los eventos en la consolidación de la ciencia

Un aspecto que vale la pena analizar es el correspondiente al periodo de mayor consolidación de la ciencia en México, identificado durante los años 90, en particular el quinquenio correspondiente a 1994-1999 donde los trabajos y citas se duplican, tal como lo muestran las distintas figuras que hacen referencia al tema. En éstas se observa que los crecimientos son continuos entre un año y otro, con probabilidades de continuar su ascenso, aunque éstos no serán del mismo orden, a menos que se produzca una situación extraordinaria que provoque el crecimiento de la producción científica del país como ocurrió en la década de los años 90, donde se conjuntaron varios eventos que coadyuvaron a producir dichos escalamientos. Entre ellos figuran diversas iniciativas del CONACYT, como el crecimiento en el otorgamiento de becas para estudiantes de posgrado, su regionalización, la creación de los centros CONACYT, el mejoramiento de los programas de posgrado, así como la consolidación del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y el Programa de Mejoramiento del

Profesorado de las Instituciones de educación Superior (PROMEP). Es pertinente mencionar también los esfuerzos complementarios realizados por los grupos de investigación a través de diversas acciones: la participación en la desconcentración de la ciencia por medio del establecimiento de las áreas de investigación en gran parte de las entidades federativas del país; la implementación y establecimiento de programas de posgrado contribuyendo de esta manera a la institucionalización y profesionalización de la ciencia en diversas universidades, instituciones y centros de investigación. Entre otros se destacan la búsqueda e incorporación de nuevas áreas de investigación y la incorporación en la colaboración científica internacional.

El análisis de los datos, en particular por quinquenio, permite concluir que el desarrollo de la ciencia en México está muy influenciado por los sucesos económicos, políticos y educativos que se producen a nivel nacional. Sin embargo, aun con las adversidades a las que hace frente en su desarrollo, ha logrado ajustarse al principio señalado por D. Crane (1972), que advierte que la ciencia es capaz de lograr importantes crecimientos visibles a través de la literatura e impacto científico, la expansión de los grupos de investigación y la colaboración científica establecida con otras comunidades científicas en el ámbito nacional e internacional; dando lugar a distintos patrones de crecimiento que reflejan, entre otros aspectos, la acumulación de esfuerzos en el desarrollo de las disciplinas científicas, y puede verse como el resultado de distintos escalamientos que tienen que ver con la asignación de diferentes recursos: materiales, económicos, humanos y con el uso de recursos documentales. En este sentido, la ciencia mexicana registra periodos de crecimiento continuos en trabajos y citas, sobre todo como se ha mencionado a partir de los años 90. De la igual manera crecen las becas de posgrado, instituciones de investigación, revistas mexicanas registradas en los índices internacionales, trabajos en colaboración y en consecuencia el número de países, así como de los investigadores SNI que de acuerdo con J.L. Tórtora (2007) se duplicaron entre 1994-2004, de 5 979 a 12 050; también se ha institucionalizado y profesionalizado la ciencia en gran parte de las entidades federativas sobre todo a través de las instituciones de educación superior. De alguna manera, estos crecimientos son parte del desarrollo de las estructuras organizativas

orientadas al mejoramiento de las actividades científicas en el país. A lo anterior, como se ha dicho, se suman los esfuerzos de las instituciones, grupos de investigación y hasta iniciativas individuales de científicos que buscan mejorar y consolidar sus instalaciones, laboratorios, equipos, formación de recursos humanos, planta académica y auxiliar de apoyo en la investigación. En este sentido, los crecimientos que registra la ciencia mexicana en parte son consecuencia de iniciativas que se originaron desde los años 70 y 80, como el caso de las becas de posgrado, que se pretendía incrementar desde los años 70, una idea que finalmente se consolida en los 90.

En situaciones como la anterior existe la influencia, por ejemplo, de la crisis de los últimos años de los 70 y principios de los 80, que afectaron no sólo el incremento en el número de becas, sino también en instituciones y trabajos publicados tal como se muestra en la figura 3-4. Es por ello que la década de los años 80 presenta un patrón de estabilización en prácticamente todos los aspectos: becas, fuentes de publicación, trabajos y citas. Dicho patrón se modifica al iniciar el periodo de los años 90, donde los crecimientos son del doble en todos los sentidos. Es muy probable que estos incrementos tengan que ver con la acreditación de los programas nacionales de posgrado de excelencia (PNPE), cuyo objetivo primordial consiste en impulsar la oferta de programas nacionales de calidad, y de esta manera orientar a los aspirantes en la elección de programas de alto nivel en universidades y centros de investigación del país. En este caso, los esfuerzos se orientaron a construir un Padrón de Programas de Posgrado de Excelencia en Ciencia y Tecnología, que dio como resultado la aprobación de 2 247 programas de posgrado en todo el país (Tinajero-Villavicencio, 2005).

La acreditación de programas de posgrado representa una de las mejores iniciativas del CONACYT para fortalecer e impulsar el sistema nacional de posgrado, que simboliza el más alto nivel del sistema educativo formal, y constituye la estrategia principal para la formación de profesionales altamente especializados. Conformar, además, la base para el desarrollo de la investigación científica. En consecuencia, debe constituirse en un objetivo estratégico para el país y de esta manera ampliar el tamaño de la comunidad

dedicada a realizar estas tareas. Este esfuerzo de mejoramiento de los programas de posgrado significa un adelanto a nivel de educación en México, ajustándolos a la altura de los mejores del mundo, dando a las instituciones mexicanas la ventaja de competir con las extranjeras en la formación de perfiles científicos. De esta manera se contribuye a reducir el otorgamiento de becas para estudios en el extranjero, algo que predominó durante los años 70 y 80 cuando los estudiantes al no encontrar oferta de estudios especializados y de calidad en México optaban por dirigirse a otros países. Esto propició la fuga de cerebros que, de acuerdo con C. Morales (2009) de 1971 a la fecha más de 2 100 becarios no regresaron a México, a pesar de que el CONACYT incluye una carta compromiso de regreso al país una vez que logran el grado. Sin embargo, no existe un mecanismo legal que los obligue a cumplir dicha condición.

4.6. Relación universidad – empresa

Hoy en día se habla mucho de la relación universidad – empresa que está despertando gran interés por las ventajas que ofrece en la innovación tecnológica y por la forma de contribuir al desarrollo económico del país. En la mayoría de los países latinoamericanos estas relaciones existen, solo que están en estados prácticamente agonizantes. En México la situación no cambia mucho, a pesar de los esfuerzos que se realizan por poner en contacto a la universidad con la empresa. De acuerdo con estudios realizados en torno a la identificación de redes de conocimiento en el ámbito nacional, se ha detectado cierto avance a través de la identificación de parques industriales instalados en algunos estados del país, donde son considerados básicos para el desarrollo de la región. Por otro lado, sabemos que cada vez hay menos recursos destinados a la investigación científica en términos del PIB, y que no todos los gobiernos estatales están dispuestos a contribuir para levantar la ciencia en sus regiones, menos para invertir en el desarrollo de redes o espacios regionales de conocimiento tan necesarios por las ventajas que ofrecen. Sin embargo, se quiera o no, la relación universidad – empresa es un fenómeno cada vez más apremiante en México. Desde hace décadas varios autores han destacado la presencia de cambios radicales en el modo de producción del

conocimiento. Por ejemplo, M. Gibbons, H. Limoges, S. Nowotny, P. Schwartzman, P. Scott, and M. Trow (1995) señala que los procesos de desarrollo científico y tecnológico están evolucionando de un modo denominado tradicional, en el que el conocimiento se genera en un contexto disciplinario y principalmente cognitivo, que está evolucionando a un nuevo modo, denominado *Modo 2*; en este modo el conocimiento se genera en contextos más amplios, transdisciplinarios, económicos y sociales al cual sería deseable integrarse por las ventajas que ofrece cuando está en contacto con el desarrollo de la industria.

Esta nueva dinámica de la ciencia y la investigación conduce a transformaciones importantes en la organización y desempeño de las universidades. De esta manera la estructura disciplinaria y especializada, adoptada por las universidades a principios del siglo XIX, cede el paso a modalidades organizativas más flexibles centradas directamente en los grupos de investigación. Como parte de esta dinámica surgen nuevas estructuras al interior de las universidades entre ellas: oficinas de transferencia tecnológica y parques científicos y tecnológicos que trascienden la frontera institucional y promueven la explotación económica de su conocimiento (Vega-Jurado, Fernández de Lucio y Huanca-López, 2007). En este caso a través de la relación universidad - empresa se podrían ofrecer los beneficios económicos que hacen falta a las universidades públicas, privadas, institutos tecnológicos y centros de investigación. La empresa por su parte lograría de las instituciones los beneficios para su desarrollo e innovación tecnológica. Aunque sería mucho mejor si a esta relación se incorporan las entidades gubernamentales, dando lugar a las llamadas alianzas o Modelo Triple-Hélice (universidad – empresa - gobierno), los tres actores trabajando juntos generando beneficios para todos, dando lugar a lo que se conoce como capitalismo académico, vinculado a la emergencia de una economía globalizada basada en el conocimiento.

En México y según M. Luna, (2001) son ejemplo de redes de conocimiento: el parque de ingeniería automotriz de Hermosillo, Coahuila; los parques industriales de Querétaro, Guanajuato y Jalisco, así como el complejo de tecnologías de información de Cd. Juárez, Chihuahua, y el parque de

biotecnología de Cuernavaca, Morelos y Baja California. A ello se debe que estas entidades sean consideradas con gran dinamismo industrial (Vargas-Leyva, 2008; Aragón-Castillo, 2008). Esto prueba que en nuestro país existen y funcionan los espacios regionales de conocimiento, algunos apenas están emergiendo y otros ya están consolidados en diferentes regiones. Sin embargo, las redes de coautoría institucional como se mencionó en otros apartados, demuestran que la relación universidad-empresa es mínima. No obstante, hay que aclarar que nos basamos en los registros de trabajos publicados por las instituciones mexicanas en revistas de corriente principal. Sin embargo, para realizar un trabajo más completo es necesario tomar en cuenta otros indicadores, que de acuerdo con R. Casas y M. Luna (2001) son difíciles de conseguir como: patentes, convenios o contratos en colaboración, montos de recursos extraordinarios de las instituciones académicas, gasto o inversión en investigación y desarrollo, entre otros aspectos, lo que dificulta los estudios orientados a determinar la forma y nivel de interacción entre estos sectores.

4.7. Disciplinas científicas y sectores de producción

Las disciplinas científicas generalmente crecen en función de la dinámica que cada área de investigación presenta, así como de la publicación de trabajos y revistas disponibles para este fin. En el presente trabajo sobresalen medicina y ciencias de la salud, ciencias biológicas, ciencias físicas, ingenierías y químicas con porcentajes superiores al 8% de acuerdo con el total de trabajos registrados para México. Según W. Glanzel & A. Schubert (2003) en su nuevo esquema de clasificación de los campos y subcampos de la ciencia internacional, infieren que el campo más grande en términos de publicación científica es química, seguida de la física y los dos campos de la medicina, clínica y experimental. Los más pequeños son matemáticas, neurociencias y ciencias del ambiente, además de geociencias y ciencias del espacio. En otro estudio realizado por Thomson Reuters (2007) que cubre el periodo 2001-2005, se determina un crecimiento en las aportaciones de México a la ciencia internacional a través de algunos campos y subcampos de investigación en términos de porcentajes de trabajos e impacto relativo. Según el análisis, en los índices de Thomson Reuters durante el periodo analizado se registran para

instituciones con dirección de México 28 697 trabajos, entre ellos un alto porcentaje corresponden a ciencias del espacio, igualmente con aportaciones también significativos en impacto relativo aparecen ciencias del espacio, física, matemáticas, medicina clínica, ingenierías y geociencias. De alguna manera esto se corresponde con lo que reporta el Foro Consultivo Científico Tecnológico (2006), que indica que las áreas con mayor producción en México son: física, biología molecular, celular y genética, biología vegetal, animal y ecología y química; y las que más crecen: física y ciencias del espacio, tecnología de alimentos, ganadería y pesca; a esta lista deben agregarse las ingenierías que en los últimos 10 años incrementaron su producción (Osorio, 2004). El análisis de frecuencia de palabras aplicado en éste estudio también confirma lo anterior, sobresale la presencia de áreas como física, geociencias, biología y biomedicina, química, ecología, ciencia de los materiales y biología marina. Pero también destacan ciencia de las plantas, genética, microbiología, así como psicología, psiquiatría e ingenierías. Por lo que se infiere, por un lado, que hay demanda en el ámbito nacional por el estudio de estas líneas de investigación y, por otro, que nuestros investigadores están involucrados en temas de interés internacional. Es decir, se está produciendo lo que H. Nowotny, P. Scott, and M. Gibbons (2003) y A. Pérez- Lindo (2008) llaman investigación tradicional, caracterizada por la identidad disciplinar, la legitimación de la comunidad de pares, la reproducción de los paradigmas dominantes, la auto-referencia, el individualismo competitivo, la baja interacción con la economía, el elitismo, entre otros aspectos. Para la cual el Institute for Scientific Information (ISI) ha utilizado grandes grupos de datos para generar los índices de citación que a pesar de sus imperfecciones, han aumentado nuestra comprensión de los modos dominantes de la producción científica. Donde los esquemas de evaluación que se aplican están orientados hacia una investigación que es ajena a los requerimientos del país, obligando a los investigadores a cumplir con los fines que les garantizan mejores resultados en los procesos de evaluación (publicar y recuperar citas de revistas con prestigio internacional). Quizás no es la forma más apropiada pero es en estos grupos donde más se ha gestionado y desarrollado la institucionalización y profesionalización de las áreas de investigación a través de las distintas

entidades del país, instituciones y centros de investigación, consolidando e incrementando los niveles de producción e impacto.

Sin duda la situación que presentan los sectores de mayor producción en el país también tiene que ver con lo anterior. Entre estos sectores destacan la UNAM y el sector salud por sus altos porcentajes de producción y citas. El análisis resultó bastante interesante pues, se puede percibir que las universidades estatales y centros CONACYT a partir de la década de los años 90 presentan una dinámica de crecimiento constante. Esto les da la oportunidad de competir en el primer caso con el sector salud, y el segundo con el Cinvestav por la ubicación del segundo y tercer lugar en trabajos y citas. Resultado particularmente de los avances en las iniciativas tanto del CONACYT como de los programas desarrollados por la SEP, sobre todo, gracias al programa PROMEP que ha influido en los escalamientos de las universidades estatales. También sobresalen por su producción los sectores tecnológico, agropecuario, INIFAP y CIMMYT. En el primer caso sus avances tienen que ver con los efectos que están produciendo las ingenierías en prácticamente todos los aspectos de la sociedad (Osorio, 2004).

La agricultura tuvo su impacto en nuestro país durante la década de los años 70, con la modificación de cultivos y el manejo de productos mejorados. A principios de los años 90 se dio inicio a la investigación genómica y biotecnológica en la que participaron gran parte de las universidades del país. En 1994 se aprobó en México la producción de un producto producido por biotecnología el tomate FlavrSavr; esto generó que en 1995 se aprobara la comercialización del tomate de maduración retardada, lo que a su vez provocó la creación de por lo menos otras 15 instituciones orientadas a la mejora de la industria alimentaria, entre ellas el Cinvestav-Irapuato, INIFAP, CIATEDJ, Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad Agraria Antonio Narro y el Colegio de Posgraduados, sin dejar de mencionar al CIMMYT que ya existía (Morales-Zepeda, 2007).

4.8. Los alcances de la ciencia mexicana

Desafortunadamente cuando se compara la ciencia mexicana a nivel internacional, en términos de producción e impacto científico aparece por abajo de otras naciones e incluso con economías similares. En el periodo de 2000-2004 México apenas aportó el 0.7% a la ciencia mundial, menos que Brasil y más que el resto de los países latinoamericanos (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2005), incluidos Argentina, Chile y Venezuela países con presencia mundial por la aportaciones en trabajos y citas. A escala regional sólo Brasil alcanzó la meta de canalizar al sector científico y tecnológico el uno por ciento de su PIB, el que ha sostenido a pesar de las crisis económicas por las que ha pasado (Poy-Solano, 2007), mejorando considerablemente la producción e impacto; que en los últimos 10 años le ha valido para ubicarse como el mejor a nivel Latinoamericano y del Caribe. México, a pesar de los escasos recursos y el reducido número de investigadores, esto no ha sido un determinante para su progreso. Los investigadores adscritos a instituciones mexicanas han demostrado que pueden ser productivos y generar un alto impacto de sus publicaciones (National Science Foundation, 2004). De hecho se han identificado casos donde investigadores mexicanos están mejor posicionados en producción y citas que autores de países de primer mundo (Veloso, González-Brambila y Reyes-González, 2006); entre los que seguramente sobresalen los que tienen una carrera científica consolidada, identificados por su alto número de publicaciones (Figura 3-7). De alguna manera, esto le ha valido a nuestro país para ubicarse entre los mejores al nivel de los países de América Latina y el Caribe.

Por otro lado, México registra un alto porcentaje de colaboración científica particularmente con Estados Unidos, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Canadá y Rusia, con los que colabora a través de prácticamente todas las disciplinas científicas, pero con mayor frecuencia en ciencias físicas, medicina y ciencias de la salud, ciencias biológicas, ingenierías y químicas (Tabla 3-15 y 3-16). Por último, según los datos analizados México y Chile sobresalen en áreas de investigación como medicina clínica, astrofísica y física; Brasil en física, biología molecular, genética e ingeniería; Argentina en biología, bioquímica y química, finalmente, Venezuela tiene participación a través de las áreas de ecología y medio ambiente y matemáticas (Ríos-Gómez y Herrero-

Solana, 2005). México en los últimos 10 años también ha incrementado su participación en el estudio de recursos del mar, ecología marina y medio ambiente; a la vez que se ha postulado por el desarrollo sostenible que exige un aprovechamiento racional y conservación del medio ambiente para garantizar mejoras en el bienestar humano, lo anterior, ante el agotamiento de las poblaciones y degradación ambiental que actualmente se observa a nivel nacional. Es por ello que se está dando la importancia debida al medio ambiente marino y sus recursos marinos vivos, su biología y su entorno (Acdi & Griffiths, 1995; Beltrán-Rodríguez, 2009). Prueba de ello es que entre las palabras relevantes registradas en el estudio, como parte de la desagregación de los títulos de los trabajos y resúmenes aparecen *gulf, water, ecology y forest* como términos más recurrentes en la investigación. Esto quiere decir, que la investigación marina y biológica, ecología, forestal y ciencias del medio ambiente son temas de frontera para el país desde hace diez años. Confirma lo anterior el hecho de que el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 haga referencia a la prioridad en la investigación agrícola, ganadera, desarrollo rural, pesca y alimentación (Plan Nacional de Desarrollo, 2001-2006).

El presente análisis ha servido para corroborar que la ciencia en México es todo un contraste. Por un lado, los escasos recursos económicos que se asignan para el desarrollo científico y tecnológico del país, son insuficientes y esto se convierte en una limitante que afecta en todos los aspectos de la ciencia mexicana por ejemplo: infraestructuras, laboratorios, recursos humanos y documentales, sobre todo de espacios suficientes para recibir a los investigadores que en el país y en el extranjero se están formando; aspectos que no son fáciles de entender, es por ello que quedan algunas preguntas en el aire por ejemplo, ¿para qué se incrementan las becas, se mejoran y promueven los programas nacionales de posgrado, e incluso se repatría a los investigadores instalados en el extranjero, si finalmente, no se tienen los espacios para integrarse y dedicarse a las actividades de investigación? (Olivares-Alonso, 2009). Casos como éste ayudan a demostrar que las políticas científicas implementadas en el país no se llevan con la realidad, y que los objetivos no coinciden ni siquiera entre los mismos organismos que intervienen

para promoverla. Es por ello que en las clasificaciones internacionales nuestro país aparece con promedios muy inferiores a países con economías similares.

Por otro lado, la ciencia mexicana registra importantes signos de maduración, prueba de esto son los crecimientos que se muestran en el periodo analizado. De alguna manera esto contradice lo anterior, ¿cómo es que la ciencia en México requiere de incrementos en los recursos destinados para su desarrollo?, si durante 25 años el PIB se mantiene en promedios que no alcanzan el 0.50, y sin embargo, la producción e impacto científico, becas de posgrado, investigadores SNI y programas de posgrados han crecido e incluso al doble de los existentes entre un periodo y otro.

Referencias citadas

- ACDI, J.F. & GRIFFITHS R.C. (1995).** Recursos marinos vivos y su desarrollo sostenible: perspectivas institucionales y medioambientales. Roma, Italia: FAO, 191 p.
- AMADOR-GONZÁLEZ, R. (2009).** México destina sólo el 0.40% del PIB a la investigación científica. *La Jornada*, (domingo, 10), 1 p.
- ARAGÓN-CASTILLO. O.A. (2008).** Desarrollan fármacos a partir de tiburones y caracoles de BC. *La Jornada*, diciembre (miércoles 03): 1-3. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>, (diciembre, 2008).
- ARETXAGA, I. (2008).** Astronomy. *In Science in México 2008: present state and perspectives*. J.P. Laclette (Ed.). México: Academia Mexicana de Ciencias, pp. 1-39.
- ATLAS DE LA CIENCIA MEXICANA (2009).** Disponible en: <http://www.atlasdelacienciamexicana.org/>, (Julio, 2009).
- BELTRÁN-RODRÍGUEZ, I. (2009).** Evolución de la producción e impacto de la investigación mexicana en ciencias marinas 1984-2004, vista a través de tres sistemas de información SCI, ASFA y PERIODICA. Tesis de Maestría. México: UNAM, FFyL: CUIB, 111 p.
- BONILLA, M. Y PÉREZ-ANGÓN, M.A. (1999).** Revistas mexicanas de investigación científica y tecnológica. *Interciencia*. 24 (2): 102-106.
- BRACHO-GONZÁLEZ, T. (1999).** Perfil educativo regional en México. *Estudios Sociológicos*, 17 (51): 703-742.
- CABRERO-MENDOZA, E. Y MEJÍA-LARA, F. (1998).** El estudio de las políticas de descentralización en México. México: CIDE, 120 p.
- CASANOVA-CARDIEL, H. (2001).** La UNAM entre 1970 y 2000 crecimiento y complejidad. *En La Universidad de México: un recorrido histórico de la época colonial al presente*. R. Marsiske, Coord.). México: UNAM. CESU: Plaza & Valdéz, 261-288.
- CASAS, R. Y LUNA, M. (2001).** Espacios emergentes de conocimiento en las regiones: hacia una taxonomía. *En La formación de Redes de conocimiento:*

- una perspectiva regional desde México*. Gortari, R., Luna, M., Santos, M.J. y Tirado, R. (Coord.). México: Anthropos: UNAM. Instituto de Investigaciones Sociales, pp. 35- 118.
- CASILLAS-GARCÍA DE LEON, J. Y HANEL DEL VALLE, J. (2008)**. La creación de estudios de posgrado. *En XVI Asamblea General Ordinaria de la ANUIES* (México, DF): 1-15 p. Disponible en: http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones, (abril, 2009).
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS (2004)**. Anuario Cinvestav 2004. México: Cinvestav, 893 p.
- CETTO, A. (2000)**. ¿Qué futuro tienen las revistas latinoamericanas? *Notas. Ciencia y Mar*, 37-42.
- COLLAZO-REYES, F., LUNA MORALES, M.E., RUSSELL, J.M. AND PEREZ-ANGON, M.A. (2004)**. Publication and citation patterns of Latin American & Caribbean journals in the SCI and SSCI from 1995 to 2004. *Scientometrics*, 75 (1): 145-161.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2009)**. Convocatorias. Programa de Cooperación Internacional, Cooperación Bilateral. Disponible en: http://www.conacyt.mx/Convocatoria_CooperacionBilateral.html, (Agosto, 2009).
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2005)**. Informe general del estado de la ciencia y la tecnología: México. México: CONACYT, 4 p. Disponible en: <http://www.conacyt.mx/RendicionCuentas/docs/Difusion-2005.pdf>, (03/04/07).
- CRANE, D. (1972)**. Invisible college: diffusion of knowledge in scientific communities. Chicago: University Press, 22-40.
- DE SOLLA-PRICE, D. (1963)**. Little Science Big Science. New York: Columbia University Press, 118 p.
- DRUCKER-COLÍN, R. (2008)**. Una historia para meditar. *La Jornada*, (julio, martes 8), 2 p.
- FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (2006)**. Proyecto bases para una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación en México: versión para comentarios. México: FCCT, 52 p.
- GARZA-ALMANZA, V. (2004)**. La divulgación de la ciencia en México. *CULCYT*, Año 1 (1): 1-14. Disponible en línea:

<http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/abril-mayo2004/3-ARTCICULOP.PDF>,

(marzo, 2009).

GIBBONS, M., LIMOGES, H., NOWOTNY, S., SCHWARTZMAN, P., SCOTT, P. AND TROW, M. (1995). The New Production of Knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies. Sage Publications, Londres, thousand Oaks, Nueva Delhi, 120 p.

GLANZEL, W. & SCHUBERT, A. (2003). A new classification scheme of science fields and subfields designed for scientometric evaluation purposes. *Scientometrics*, 56 (3): 357-367.

GÓMEZ, P Y CORTÉS, A, 1987. Experiencia histórica y promoción del desarrollo regional en México. México: Nacional Financiera, 114 p.
<http://www.ifs.se/Publications/publications.asp?id=a1>, (mayo 2007).

GORBEA-PORTAL, S. (2005). El modelo matemático de Lotka: su aplicación a la producción científica latinoamericana en ciencias bibliotecológicas y de la información. México: UNAM, CUIB, 180 p.

GORBEA-PORTAL, S. (1996). El modelo matemático de Bradford: su aplicación a las revistas latinoamericanas de las ciencias bibliotecológica y de la información. UNAM, CUIB, 152 p.

HAUPT, C. (2000). Las revistas Científicas Latinoamericanas: su difusión y acceso a través de bases de datos; la 8ª. Reunión sobre las Revistas Académicas y de Investigación. *Biblioteca Universitaria*, 3 (2): 122-127.

HERNÁNDEZ-LAOS, E. (1985). La productividad y el desarrollo de la industria en México. México: FCE, 198 p.

JIMÉNEZ DE LEÓN, J.R. (2005). Savia opción. *El País*, (junio 2005).
Disponible en: <http://foros.elpais.com/index.php?showtopic=18562>, (febrero, 2009).

KAPLAN, R.D. (1997). La historia se mueve hacia el norte. *Este País*, (74): 62-66.

LORÍA, E. (2000). Un debate sobre el sistema de evaluación de las revistas académicas mexicanas. *Interciencia*, 25 (3): 165-169.

LUNA. M. (2001). Las universidades públicas estatales: estrategias y factores de colaboración con las empresas. En La formación de Redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México, Gortari, R., Luna, M.,

- Santos, M.J. y Tirado, R. (Coord.). México: Anthropos: UNAM. Instituto de Investigaciones Sociales, 8-118.
- LUNA-MORALES, M.E. Y RUSSELL, J.M. (2009).** El uso de nuevas tecnologías de información: el caso de la física mexicana de partículas y campos. México: UNAM, CUIB. En prensa.
- MACÍAS-CHAPULA, C., MENDOZA-GUERRERO, J.A., RODEA-CASTRO, I.P., JUÁREZ-SÁNCHEZ, E. Y GUTIÉRREZ-CARRASCO, A. (2007).** Actividades de investigación y desarrollo en hospitales de América Latina y el Caribe, identificadas a través de sus sitios Web. *Revista Española de Documentación Científica*, 30 (4): 503-522.
- MARTÍNEZ-MIRANDA, R. (2004).** Internacionalización de la educación, ciencia y tecnología. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 11 (035): 375-380.
- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. (2007).** Indicadores de producción científica y tecnología 1. En VII Congreso de Indicadores de Ciencia y Tecnología (23-25 mayo, San Pablo, Brasil). Disponible en: <http://www.ricyt.org/interior/interior.asp?Nivel1=6&Nivel2=2&IdTaller=19&IdIoma=>, (junio, 2009).
- MORALES, C. (2009).** Programa Nacional de Posgrado de Calidad: fuga de cerebros, en busca de calidad. Aula Virtual, (abril): 1-4. Disponible en: <http://e-consulta.com/blogs/educacion/?tag=programa-nacional-de-posgrado-de-calidad>, (mayo, 2009).
- MORALES-ZEPEDA, F. (2007).** El impacto de la biotecnología en la formación de redes institucionales en el sector hortofrutícola de Sinaloa, México. Tesis de Doctorado. Barcelona: Universidad de Barcelona, Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, 441p.
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (2004).** National Science Foundation: Semiannual Regulatory Agenda 2004. Part XXXIV.
- NOWOTNY, H., SCOTT, P. & GIBBONS, M. (2003).** Mode 2 Revisited: The New Production of Knowledge. *Minerva*, 41: 179-194.
- OLIVARES-ALONSO, E. (2009).** Mayor presupuesto y más plazas para investigadores, la prioridad en ciencia. *La Jornada*, (julio, 31).
- OLVERA-SERRANO, M. (1993).** La especialización del conocimiento. *Sociología*, Año 8 (23): 12:35.

- OSORIO, C.M. (2004).** Los efectos de la ingeniería en el aspecto humano. *En Convención Panamericana de Ingeniería*, (XXIX, septiembre 22-25, Cd. México). Disponible: <http://www.oei.es/salactsi/osorio7.htm>, (marzo, 2009).
- PÉREZ-LINDO, A. (2008).** Conceptos y posibilidades de la gestión del conocimiento en la Universidad. *Gestión Universitaria*, 1 (1): 1-10.
- PLAN NACIONAL DE DESARROLLO (2001-2006).** Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y alimentación 2001-2006. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación, 120 p.
- POY-SOLANO, L. (2007).** México entre las nacionales que menos recursos destinan a ciencia y tecnología. *La Jornada*, (enero, 18): 1 p.
- RÍOS-GÓMEZ, C. Y HERRERO-SOLANA, V. (2005).** La producción científica latinoamericana y la ciencia mundial: una revisión bibliográfica (1989-2003). *Revista Interamericana Bibliotecológica de Medellín*, 28 (1): 43-61.
- RED DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA IBEROAMERICANA (RICYT) 2007.** Manual de Santiago 2007: manual de indicadores de internacionalización de la ciencia y tecnología. Mario Albornoz (Ed.). Buenos Aires: RICYT, 131 p.
- RIVERA, A. (1999).** El gran telescopio de Canarias da su paso definitivo al adjudicar la fabricación del espejo principal. *El País* (febrero 02).
- RUÍZ-GUTIÉRREZ, R., MEDINA-MARTÍNEZ, S.R. Y BERNAL-MORENO, J.A. (2000).** Posgrado: actualidad y perspectivas. *Revista de la Educación Superior en Línea*, (24): 1-22. Disponible en línea: http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/res124/txt6.htm, (abril, 2009).
- RUSSELL, J., AINSWORTH, S. Y NARVÉZ-BERTHELEMOT, N. (2006).** La colaboración científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y su política institucional. *Revista Española de Documentación Científica*, 29 (1): 56-73.
- RUSSELL, J. (1995).** The Increasing Role of International Cooperation in Science and Technology Research in Mexico. *Scientometrics*, 34 (1): 45-61.
- SAAVEDRA-FERNÁNDEZ, O. (1995).** La producción hemerográfica en ciencias de la salud: estado actual y perspectivas. *ACIMED*, 3 (2): 13-23.
- Santos-Vale, JL, 1997.

Santos-Vale,

SOLOMON, N., BOUND, D., LEONTIOS, M. AND STARON, M. (2001).

Researchers are learners too: Collaboration in research on workplace learning. *Journal of Workplace Learning*, 13: 274-281.

SONNENWALD, D.H. (2007). Scientific Collaboration. In B. Cronin (Ed.).

Annual Review Information Science and Technology. Medford, New Jersey: Information Today, Inc. Vol. 41: 643-681.

TINAJERO-VILLAVICENCIO, G. (2005). Una década de acreditación de

programas de posgrado: 1991-2001. *Revista de Educación Superior*, 34 (133): 107-120.

THOMSON REUTERS. (2007). Science in Mexico, 2001-05. *SciBytes*, (April):

1-2. Disponible en: http://www.in-cites.com/research/2007/april_2_2007.html, (Septiembre, 2009).

TÓRTORA, J.L. (2007). El Sistema Nacional de Investigadores de México. Una

mirada rápida con énfasis en el sector agropecuario. *En Taller Sistema Nacional de Investigadores (SNI 2007)*, Gabinete Ministerial de la Innovación y CONICYT, 9 p. (21 de julio 2006, Montevideo Uruguay).

Disponible en: <http://www.csic.edu.uy/archivos/investigadores/Tortora-SNI%20Mexico.pdf>, (enero, 2009).

UNESCO. 2003. Percentage distribution of gross domestic expenditure on R&D

by source of funds. Institute for Statistics.

VARGAS-LEYVA, R. (2008). Vinculación posgrado-sectores empresariales y

sociales: mesa redonda. *En XXII Congreso Internacional de Posgrado Mérida, Yucatán (27-29 de octubre, 2008)*. Mérida: UADY, 20 p.

VEGA-JURADO, J., FENÁNDEZ DE LUCIO, I. Y HUANCA-LÓPEZ, R. (2007).

La relación universidad-empresa en América Latina: ¿Apropiación incorrecta de modelos foráneos? *Journal of Technology Management & Innovation*, 2(2): 96-107.

VELOSO, F.M., GONZÁLEZ-BRAMBILA, C. Y REYES-GONZÁLEZ, L. (2006).

La ciencia mexicana en el contexto global. E.U.A; México: Carnegie Mellon University: Instituto Tecnológico Autónomo de México, 159 p.

YOPADHYAY A.K. (2001). Authorship pattern in different disciplines. *Annals of*

Library and Information Studies, 48 (4), 139-147.

- ZEBADÚA, E. (2008).** Revalorar ciencia y tecnología en tiempos de crisis. *La Crónica de hoy*, (noviembre 03): 1-4.
- ZEPEDA-DOMÍNGUEZ, A. (1998).** La Física de partículas elementales en México. Foros: diagnóstico de la física en México. México; Academia Mexicana de Ciencias: Presidencia de la República; CONACYT, 118-124.
- ZERECERO-VALDERRAMA, G. (2007).** Vinculación universidad-empresa: ¿moda, política o necesidad? *Folios*, (septiembre-Octubre), Año 2 (2): 28-30.

CAPITULO 5

Consideraciones finales

Analizar el desarrollo de la producción e impacto científico en México involucra adentrarse en una serie de situaciones que van desde cuestiones políticas, económicas, educativas, culturales y de organización que de una u otra manera influyen en su crecimiento y restringen su participación en los ámbitos de la ciencia internacional y regional. En este sentido, la ciencia mexicana está clasificada en lo que algunos epistemólogos llaman ciencia periférica (López-Beltrán, 1999), refiriéndose a los países que hacen aportaciones mínimas a la producción científica mundial. Por otra parte, en el ámbito regional la ciencia mexicana cada vez está más al margen entre los países latinoamericanos y del Caribe, donde una vez fue líder, hasta que Brasil se posicionó como el país de la región que más porcentaje del PIB asigna para el desarrollo científico y tecnológico, registrando mayor producción e impacto científico en los índices internacionales como el SCIE.

En otros estudios también orientados al análisis del desarrollo de la ciencia en México en términos de producción y citas, ninguno cubre un periodo de 25 años como el que aquí se presenta; tampoco abordan la fisionomía de la ciencia mexicana a niveles estructurales: entidad federativa, instituciones, países, categorías, disciplinas científicas y frecuencia de palabras por serie anual y quinquenio; y mucho menos han combinado los métodos bibliométricos con la minería de datos y el análisis de redes de coautoría. A todo lo anterior también hay que considerar la identificación de los eventos ocurridos en torno a la ciencia mexicana durante el periodo de análisis. La unión de estas variantes dio como resultado la identificación del siguiente perfil de la ciencia en México, así como las recomendaciones que a continuación se mencionan.

Durante el periodo 1980-2004 la ciencia mexicana logró importantes crecimientos, consecuencia de la fusión de distintos esfuerzos que de varias formas activaron su desarrollo, lo que permite identificar la presencia de dos

principales patrones de crecimiento de la ciencia en México. Por un lado está el correspondiente a la década de los años 80, considerada una época de estabilización en todos los aspectos que tienen que ver con el progreso de la ciencia en México. Sin embargo, todo parece indicar que también se trata de un periodo de gestación y arraigo de la ciencia mexicana. Los eventos ocurridos en este periodo así lo indican, solo que sus efectos prosperaron con más fuerza en el periodo siguiente, identificado como el de mayor crecimiento en todos los sentidos, con promedios que se duplican en comparación con la década anterior, y que continúan en los años 2000, pero con menor intensidad. Esto indica que posiblemente hacen faltan nuevas iniciativas que incentive su crecimiento tal como ocurrió en las dos primeras décadas de este estudio.

La colaboración científica ha jugado un papel fundamental en el crecimiento que muestra la ciencia mexicana, tanto por la influencia que ejerce a nivel nacional como por las ventajas que en el ámbito internacional garantiza la oportunidad de adquirir nuevas metodologías y el acceso a tecnologías novedosas, así como el interés por colaborar con investigadores líderes en campos específicos de la investigación, y otros factores como la proximidad geográfica, el idioma, la excelencia científica del país, y las facilidades que éstos ofrecen para la investigación (Sancho, Morillo, Filippo, Fernández-Muñoz y Gómez-Caridad, 2006). También hay que considerar las oportunidades que provocan las nuevas formas de hacer ciencia, orientadas a compartir los recursos de inversión para el desarrollo de herramientas, entre las que destacan las Big Science, conformadas por grandes grupos orientados al desarrollo de las herramientas y tecnologías propias de los grandes aceleradores y detectores de partículas (Luna-Morales y Russell, 2009). En este caso es recomendable mantener y, en lo posible, ampliar los proyectos y convenios de participación con instituciones y países que mejores oportunidades ofrezcan para los investigadores. Según los resultados de este estudio, la colaboración científica ha generado en consecuencia trabajos más citados.

Las ventajas que en descentralización y desconcentración registra la ciencia mexicana, se debe particularmente a las iniciativas del Estado ejecutadas por

el CONACYT, que sirvieron para consolidar sus centros. De igual manera ha sido primordial la participación de las instituciones de educación superior de las distintas entidades federativas, y de los institutos tecnológicos estatales. En particular, debe destacarse el papel tan importante que realizan la UNAM, el Cinvestav y el IPN, principales promotoras de la desconcentración de la actividad científica, mediante la instalación de nuevas dependencias en diferentes entidades del país, sin olvidar el trabajo que desempeñan los grupos de investigación para lograr la extensión o ampliación de sus áreas y disciplinas de investigación. Sin embargo, estos esfuerzos e iniciativas no inciden en todos los estados del país por igual; prueba de ello es la presencia de tres diferentes grupos de entidades productivas: el primero considerado de mayor tradición científica, registra más participación en trabajos y citas; el segundo es identificado como de refuerzo, ya que gran parte de las entidades se incorporan a la investigación durante los años 80 pero no registran más del 3% de trabajos y citas; el tercero es calificado como emergente o periférico, se caracteriza porque sus entidades no alcanzan el 1% en producción e impacto. Quizás lo recomendable es hacer un estudio regional de los estados con escasa participación científica, a fin de determinar las causas de esta situación y buscar la forma de ayudarlos. Incluso podrían apoyarse en las instituciones identificadas como promotoras de la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México: UNAM, Cinvestav, IPN, universidades públicas estatales y los grupos de investigación que de una u otra manera contribuyen a profesionalizar la ciencia mexicana, a través de la apertura de programas de posgrado en diversas entidades del país. Es por ello, que entre las principales instituciones y sectores productivos del país, destacan, además de la UNAM, Cinvestav, UAM, IPN y las instituciones de educación superior y centros CONACYT, las instituciones de salud del país, sobre todo las que integran la SSA y el IMSS. Estas últimas, por su destacada participación, merecen un estudio por separado que detalle los avances logrados por este sector. Una recomendación similar es para los centros CONACYT y las instituciones de educación superior de los estados, que a partir de la segunda mitad de los años 90 registran participaciones más destacadas en el crecimiento de la ciencia mexicana.

La ciencia mexicana registra escasa participación en el desarrollo de la industria nacional, así lo indican los resultados mostrados en este estudio, y confirman lo obtenido R. González Amador (2009), R. Casas y M. Luna (2001), que anuncian que existe muy poca relación entre la academia y la empresa. En este sentido, existe la necesidad de llevar a cabo una promoción más intensa entre ambas entidades, incluyendo la participación del gobierno federal y estatal provocando la relación academia-empresa-gobierno; esto genera para las partes involucradas distintos beneficios: la empresa obtiene transferencia tecnológica, las universidades, institutos y centros de investigación recursos para la investigación, y para las entidades federativas y el país en general se convierten en ventajas económicas. En este caso, es indispensable que la comunidad científica se promueva ante la sociedad dejando ver que son útiles para el desarrollo del país, a través de lo que se llama un nuevo contrato social de la ciencia (Vega-Jurado, Fernández de Lucio y Huanca-López, 2007), donde la cooperación con la industria daría lugar a la generación de transferencia tecnológica, y a un número más alto de patentes. Esto sin duda ayudaría a elevar el nivel de participación de la ciencia mexicana en el ámbito internacional, que al parecer ésta es la única manera de garantizar un desarrollo más saludable para la ciencia nacional (Luna, 2001).

Como se ha dicho, analizar el desarrollo de la ciencia en México implica adentrarse en aspectos que tienen que ver con el desarrollo de políticas científicas, y este estudio no es una excepción. En principio, hay que decir que se trata de una ciencia con escasos 39 años de reconocimiento institucional y profesional en el país; durante este periodo logró consolidar su integración al ámbito de la ciencia internacional gracias a los trabajos publicados en revistas de corriente principal. Así mismo, nos referimos a una ciencia dependiente de los recursos del estado, lo que quiere decir, que continuará limitada en el porcentaje del PIB asignado para su desarrollo, que variará aun más según la situación económica del país; y como ha ocurrido hasta hoy, seguirán tan bajos que posiblemente solo ayude a sostener los crecimientos actuales (Drucker-Colín, 2008), a menos que se incremente el porcentaje del PIB al uno por ciento tal como lo recomienda la UNESCO para países subdesarrollados (Mariaca-Méndez, 2009). En este esquema también es preocupante la situación de los

egresados de posgrado, y la falta de plazas de investigador. Lo ideal sería que se analizara a conciencia la situación de la ciencia mexicana y definir de una vez por todas el papel que realmente se quiere desempeñar, si es o no útil a la sociedad y al desarrollo del país. Esto implica la definición de un porcentaje del PIB suficiente que permita continuar con la maduración de la ciencia mexicana a través del desarrollo de sus estructuras funcionales que son la base fundamental para incrementar la producción e impacto científico. El caso de Brasil es un ejemplo a seguir, de esta manera no sólo recuperaría el lugar que a nivel regional está perdiendo, sino también mejoraría su posición entre los países miembro de la OCDE a la que pertenece desde 1995 (Mariaca-Méndez, 2003). Un aspecto que también es conveniente retomar es la comparación de la ciencia nacional contra la de otros países similares, donde se pueda determinar con más exactitud la situación real que nuestro país presenta en el ámbito regional e internacional.

En un estudio histórico bibliométrico como el actual, no puede faltar la aplicación de los modelos matemáticos de Lotka y Bradford, que demuestran que la bibliometría clásica sigue viva, y es una forma de probar los datos recientes. Los valores absolutos permiten interpretar los resultados a un nivel de observación, sin embargo, la formulación matemática tal como ocurrió en este análisis, lo corrobora. De esta forma se probó el enunciado de Lotka, que advierte que 60% de los autores que conforman la comunidad científica mexicana publican un solo trabajo. Por otro lado, el modelo de Bradford que infiere que existe una dispersión-concentración de la información, también ha sido probado a través de la identificación de tres zonas de concentración y su respectiva gráfica de dispersión. Entre las distintas leyes bibliométricas conocidas, la de Bradford es posiblemente la más utilizada por las ventajas que ofrece sobre todo a la comunidad bibliotecaria, por lo conveniente que resulta en la evaluación de los fondos documentales, para la adquisición de revistas, particularmente, en la conformación de colecciones de áreas o disciplinas específicas. En este sentido, se recomienda en particular a la comunidad bibliotecaria la aplicación de estas leyes, en especial, por lo útil que resultan en el desarrollo de fondos documentales, por los beneficios que ofrecen en el

mejoramiento de los servicios que proporciona una biblioteca, y para determinar las formas que siguen los flujos de la comunicación.

La combinación de las diferentes técnicas utilizadas en este estudio permitió llevar el análisis de la ciencia mexicana a niveles más específicos, así como a identificar los efectos que tuvieron los eventos ocurridos en el periodo de estudio, lo que hace la diferencia con otros también enfocados al mismo tema. Esta convivencia ayudó a cumplir con los objetivos planteados y la hipótesis señalada, la última quedó probada, dado que la institucionalización y profesionalización de la ciencia en México forma parte de la descentralización, desconcentración y colaboración científica. No obstante, estudios como éste y otros, se pueden desarrollar gracias a la conformación de grandes bases de datos, que favorecen el desarrollo de este tipo de estudios donde se produce una convergencia entre las bases de conocimiento con la bibliometría, dando lugar a la aportación de resultados útiles orientados a la toma de decisiones (Gorbea-Portal, 2006).

Para concluir, se espera que esta tesis constituya una herramienta de interés, primero para la comunidad científica del país, que logre resolver las dudas que entre científicos se generan con respecto a la forma en que crece la ciencia mexicana desde el punto de vista de la producción, citas, instituciones, disciplinas, sectores, temáticas, colaboración científica y entidad federativa, entre otras. En segundo lugar, que entre los bibliotecarios despierte el interés en retomar y aplicar las técnicas metodológicas utilizadas en este estudio. Finalmente a nivel de política científica que sirva para tomar decisiones, e incluso complemente los resultados de otros estudios sobre este apasionante tema.

Referencias

- CASAS, R. Y LUNA, M. (2001).** Espacios emergentes de conocimiento en las regiones: hacia una taxonomía. *En La formación de Redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México.* Gortari, R., Luna, M., Santos, M.J. y Tirado, R. (Coord.). México: Anthropos: UNAM. IIS, 35- 118.
- DRUCKER-COLÍN, R. (2008).** Una historia para meditar. *La Jornada*, (julio, 08).
- GONZÁLEZ-AMADOR, R. (2009).** México destina sólo 0.4% del PIB a la investigación científica. *La Jornada*, (mayo, 10): 1-3.
- GORBEA-PORTAL, S. (2006).** Perspectivas de los Estudios Métricos de la Información en la Gestión del Conocimiento. En: *1er. Congreso Internacional de Investigación en Ciencia de la Información. Memoria. Medellín, Colombia: Escuela Interamericana de Bibliotecología, Centro de Investigaciones en Ciencia de la Información, Universidad Antioquia.* 23 h.
- LÓPEZ-BELTRÁN, C. (1999).** Ciencia en los márgenes: una reconsideración de la asimetría centro-periferia. *Revista Nueva Antropología*, 16 (055): 1-10.
- LUNA, M. (2001).** Las universidades públicas estatales: estrategias y factores de colaboración con las empresas. *En La formación de Redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México,* Gortari, R., Luna, M., Santos, M.J. y Tirado, R. (Coord.). México: Anthropos: UNAM. IIS. 8-118 p.
- LUNA-MORALES, M.E Y RUSSELL, J.M. (2004).** El uso de nuevas tecnologías de información: el caso de la física mexicana de partículas y campos. México: UNAM, CUIB. En prensa.
- MARIACA-MÉNDEZ, R. (2003).** El futuro de la investigación científica en México. *Ecofronteras*, 19: 32-36.
- SANCHO, R., MORILLO, F., FILIPPO, D., FÉRNANDEZ-MUÑOZ, M.T., GÓMEZ-CARIDAD, I. (2006).** Indicadores de colaboración científica Inter-Centros en los países de América Latina. *Interciencia*, 31(4): 1-28.
- VEGA-JURADO, J., FENÁNDEZ DE LUCIO, I. y HUANCA-LÓPEZ, R. (2007).** La relación universidad-empresa en América Latina: ¿Apropiación incorrecta de modelos foráneos? *Journal of Technology Management & Innovation*, 2(2): 96-107.

Anexo 1-1. Clasificación de categorías temáticas en disciplinas científicas.

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Agricultural Economics & Policy	6	Agrociencias
Agricultural Engineering	6	Agrociencias
Agriculture, Dairy & Animal Science	6	Agrociencias
Agriculture, Multidisciplinary	6	Agrociencias
Agriculture, Soil Science	6	Agrociencias
Agronomy	6	Agrociencias
Biochemical Research Methods	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Biochemistry & Molecular Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Biodiversity Conservation	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Biophysics	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Biotechnology & Applied Microbiology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Cell Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Developmental Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Ecology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Entomology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Environmental Sciences	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Environmental Studies	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Evolutionary Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Fisheries	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Forestry	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
History of Social Sciences	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Limnology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Marine & Freshwater Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Microbiology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Mycology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Ornithology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Plant Sciences	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Reproductive Biology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud
Zoology	2	Ciencias Biológicas y Ciencias de la Salud

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Geochemistry & Geophysics	8	Ciencias de la Tierra
Geography	8	Ciencias de la Tierra
Geography, Physical	8	Ciencias de la Tierra
Geology	8	Ciencias de la Tierra
Gesosciences, Multidisciplinary	8	Ciencias de la Tierra
Meteorology & Atmospheric Sciences	8	Ciencias de la Tierra
Mineralogy	8	Ciencias de la Tierra
Mining & Mineral Processing	8	Ciencias de la Tierra
Oceanography	8	Ciencias de la Tierra
Paleontology	8	Ciencias de la Tierra
Water Resources	8	Ciencias de la Tierra
Acoustics	3	Ciencias Físicas
Astronomy & Astrophysics	3	Ciencias Físicas
Crystallography	3	Ciencias Físicas
Mechanics	3	Ciencias Físicas
Optics	3	Ciencias Físicas
Physics, Nuclear	3	Ciencias Físicas
Physics	3	Ciencias Físicas
Physics, Applied	3	Ciencias Físicas
Physics, Atomic, Molecular & Chemical	3	Ciencias Físicas
Physics, Condensed Matter	3	Ciencias Físicas
Physics, Fluids & Plasmas	3	Ciencias Físicas
Physics, Mathematical	3	Ciencias Físicas
Physics, Multidisciplinary	3	Ciencias Físicas
Physics, Particles & Fields	3	Ciencias Físicas
Spectroscopy	3	Ciencias Físicas
Thermodynamics	3	Ciencias Físicas
Chemistry	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Analytical	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Applied	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Inorganic & Nuclear	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Medicinal	4	Ciencias Químicas

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Chemistry, Multidisciplinary	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Organic	4	Ciencias Químicas
Chemistry, Physical	4	Ciencias Químicas
Clinical Neurology	4	Ciencias Químicas
Electrochemistry	4	Ciencias Químicas
Area Studies	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Behavioral Sciences	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Business	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Business, Finance	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Communication	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Criminology & Penology	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Demography	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Economics	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Education & Educational Research	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Education, Scientific Disciplines	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Education, Special	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Ergonomics	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Family Studies	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
History & Philosophy of Science	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Immunology	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Infectious Diseases	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Information Science	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Information Science & Library Science	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Information Services	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
International Relations	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Law	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Management	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Operations Research & Management Science	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Planning and Development	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Political Science	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Applied	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Descripción de la categoría temática
Psychology, Biological	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Clinical	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Developmental	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Educational	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Experimental	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Mathematical	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Multidisciplinary	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Psychoanalysis	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Psychology, Social	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Public Administration	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Religion	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Social Issues	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Social Sciences, Biomedical	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Social Sciences, Interdisciplinary	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Social Sciences, Mathematical Methods	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Social Work	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Sociology	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Sport Sciences	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Substance Abuse	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Urban Studies	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Women's Studies	5	Ciencias Sociales y Ciencias del Comportamiento
Anthropology	9	Humanidades
Applied Linguistics	9	Humanidades
Archaeology	9	Humanidades
Ethics	9	Humanidades
Ethnic Studies	9	Humanidades
History	9	Humanidades
Horticulture	9	Humanidades
Language & Linguistics Theory	9	Humanidades
Music	9	Humanidades
Automation & Control Systems	7	Ingenierías
Computer Science	7	Ingenierías

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Computer Science, Artificial Intelligence	7	Ingenierías
Computer Science, Cybernetics	7	Ingenierías
Computer Science, Hardware & Architecture	7	Ingenierías
Computer Science, Hardware & Technology	7	Ingenierías
Computer Science, Information Systems	7	Ingenierías
Computer Science, Interdisciplinary Applications	7	Ingenierías
Computer Science, Software Engineering	7	Ingenierías
Computer Science, Theory & Methods	7	Ingenierías
Construction & Building Technology	7	Ingenierías
Energy & Fuels	7	Ingenierías
Engineering, Aerospace	7	Ingenierías
Engineering, Biomedical	7	Ingenierías
Engineering, Chemical	7	Ingenierías
Engineering, Civil	7	Ingenierías
Engineering, Electrical & Electronic	7	Ingenierías
Engineering, Environmental	7	Ingenierías
Engineering, Geological	7	Ingenierías
Engineering, Industrial	7	Ingenierías
Engineering, Manufacturing	7	Ingenierías
Engineering, Marine	7	Ingenierías
Engineering, Mechanical	7	Ingenierías
Engineering, Multidisciplinary	7	Ingenierías
Engineering, Ocean	7	Ingenierías
Engineering, Petroleum	7	Ingenierías
Food Science & Technology	7	Ingenierías
Humanities, Multidisciplinary	7	Ingenierías
Instruments & Instrumentation	7	Ingenierías
Materials Science, Biomaterials	7	Ingenierías
Materials Science, Ceramics	7	Ingenierías
Materials Science, Characterization & Testing	7	Ingenierías
Materials Science, Coatings & Films	7	Ingenierías
Materials Science, Composites	7	Ingenierías

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Materials Science, Multidisciplinary	7	Ingenierías
Materials Science, Textiles	7	Ingenierías
Materials Science, Paper & Wood	7	Ingenierías
Materials, Multidisciplinary	7	Ingenierías
Metallurgy & Metallurgical Engineering	7	Ingenierías
Microscopy	7	Ingenierías
Multidisciplinary Sciences	7	Ingenierías
Nuclear Science & Technology	7	Ingenierías
Polymer Science	7	Ingenierías
Remote Sensing	7	Ingenierías
Robotics	7	Ingenierías
Telecommunications	7	Ingenierías
Transportation	7	Ingenierías
Transportation Science & Technology	7	Ingenierías
Mathematics	10	Matemáticas
Mathematics, Applied	10	Matemáticas
Mathematics, Interdisciplinary Applications	10	Matemáticas
Statistics & Probability	10	Matemáticas
Allergy	1	Medicina
Anatomy & Morphology	1	Medicina
Andrology	1	Medicina
Anesthesiology	1	Medicina
Cardiac & Cardiovascular Systems	1	Medicina
Critical Care Medicine	1	Medicina
Dentistry, Oral Surgery & Medicine	1	Medicina
Dermatology	1	Medicina
Emergency Medicine	1	Medicina
Endocrinology & Metabolism	1	Medicina
Gastroenterology & Hepatology	1	Medicina
Genetics & Heredity	1	Medicina
Geriatrics & Gerontology	1	Medicina
Gerontology	1	Medicina

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Health Care Science & Services	1	Medicina
Health Policy & Services	1	Medicina
Hematology	1	Medicina
Imaging Science & Photographic Technology	1	Medicina
Industrial Relations & Labor	1	Medicina
Integrative & Complementary Medicine	1	Medicina
Medical Ethics	1	Medicina
Medical Informatics	1	Medicina
Medical Laboratory Technology	1	Medicina
Medicine, General & Internal	1	Medicina
Medicine, Laboratory Technology	1	Medicina
Medicine, Legal	1	Medicina
Medicine, Research & Experimental	1	Medicina
Neuroimaging	1	Medicina
Neurosciences	1	Medicina
Nursing	1	Medicina
Nutrition & Dietetics	1	Medicina
Obstetrics & Gynecology	1	Medicina
Oncology	1	Medicina
Ophthalmology	1	Medicina
Orthopedics	1	Medicina
Otorhinolaryngology	1	Medicina
Parasitology	1	Medicina
Pathology	1	Medicina
Pediatrics	1	Medicina
Peripheral Vascular Disease	1	Medicina
Pharmacology & Pharmacy	1	Medicina
Physiology	1	Medicina
Psychiatry	1	Medicina
Public, Environmental & Occupational Health	1	Medicina
Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging	1	Medicina
Rehabilitation	1	Medicina

Categorías - Temáticas	No. Categoría	Categoría
Respiratory System	1	Medicina
Rheumatology	1	Medicina
Surgery	1	Medicina
Toxicology	1	Medicina
Transplantation	1	Medicina
Tropical Medicine	1	Medicina
Urology & Nephrology	1	Medicina
Veterinary Sciences	1	Medicina
Virology	1	Medicina

Anexo 3-1. Distribución de autores por contribuciones, según el modelo matemático de Lotka.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Autores Contribución	Autores Observados	Acumulado Aut-observados	S (x)	1/n ²	Teor-Acum E	f (x)	f (x) - S (x)	/F (x) - S(x)/	
1	54480	54480	0.593102247	54480.00	54480.00	0.6126094	0.019507130876	0.019507130876	DISTANCIA-MAXIMA
2	13988	68468	0.745384079	13620.00	68100.00	0.7657617	0.020377642910	0.020377642910	
3	6518	74986	0.816342972	6053.33	74153.33	0.8338294	0.017486459384	0.017486459384	
4	3584	78570	0.855360564	3405.00	77558.33	0.8721175	0.016756952747	0.016756952747	
5	2358	80928	0.881031179	2179.20	79737.53	0.8966219	0.015590712986	0.015590712986	
6	1607	82535	0.898525954	1513.33	81250.87	0.9136388	0.015112865720	0.015112865720	
7	1195	83730	0.911535447	1111.84	82362.70	0.9261411	0.014605604801	0.014605604801	
8	934	84664	0.921703536	851.25	83213.95	0.9357131	0.014009537148	0.014009537148	
9	767	85431	0.930053562	672.59	83886.55	0.9432762	0.013222589759	0.013222589759	
10	586	86017	0.936433113	544.80	84431.35	0.9494022	0.012969132937	0.012969132937	
11	571	86588	0.942649364	450.25	84881.59	0.9544651	0.011815768833	0.011815768833	
12	450	87038	0.947548337	378.33	85259.93	0.9587194	0.011171028319	0.011171028319	
13	377	87415	0.951652587	322.37	85582.29	0.9623443	0.010691685750	0.010691685750	
14	294	87709	0.954853249	277.96	85860.25	0.9654698	0.010616581895	0.010616581895	
15	265	87974	0.957738199	242.13	86102.39	0.9681925	0.010454339884	0.010454339884	
16	257	88231	0.960536056	212.81	86315.20	0.9705855	0.010049487750	0.010049487750	
17	221	88452	0.962941996	188.51	86503.71	0.9727053	0.009763303651	0.009763303651	
18	196	88648	0.965075771	168.15	86671.86	0.9745961	0.009520298732	0.009520298732	
19	178	88826	0.967013586	150.91	86822.77	0.976293	0.009279461907	0.009279461907	
22	161	88987	0.96876633	112.56	86935.34	0.9775588	0.008792440337	0.008792440337	
21	139	89126	0.970279568	123.54	87058.87	0.9789479	0.008668339137	0.008668339137	
20	139	89265	0.971792806	136.20	87195.07	0.9804794	0.008686624470	0.008686624470	
23	127	89392	0.973175405	102.99	87298.06	0.9816375	0.008462077373	0.008462077373	
54	125	89517	0.974536231	18.68	87316.74	0.9818476	0.007311337254	0.007311337254	
24	119	89636	0.975831737	94.58	87411.33	0.9829111	0.007079389192	0.007079389192	
25	109	89745	0.977018377	87.17	87498.49	0.9838913	0.006872924238	0.006872924238	
26	103	89848	0.978139697	80.59	87579.09	0.9847975	0.006657830801	0.006657830801	
31	102	89950	0.979250131	56.69	87635.78	0.985435	0.006184867815	0.006184867815	

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Autores Contribución	Autores Observados	Acumulado Aut-observados	S (x)	1/m ²	Teor-Acum E	f (x)	f (x) - S (x)	/F (x) - S(x)/
30	84	90034	0.980164605	60.53	87696.31	0.9861157	0.005951070072	0.005951070072
37	77	90111	0.981002874	39.80	87736.11	0.9865632	0.005560288240	0.005560288240
29	76	90187	0.981830256	64.78	87800.89	0.9872916	0.005461335951	0.005461335951
28	75	90262	0.982646751	69.49	87870.38	0.988073	0.005426230079	0.005426230079
27	74	90336	0.98345236	74.73	87945.11	0.9889133	0.005460963383	0.005460963383
33	74	90410	0.984257969	50.03	87995.14	0.9894759	0.005217897650	0.005217897650
38	72	90482	0.985041805	37.73	88032.86	0.9899001	0.004858306803	0.004858306803
34	68	90550	0.985782094	47.13	88079.99	0.9904301	0.004647956563	0.004647956563
53	63	90613	0.98646795	19.39	88099.39	0.9906481	0.004180188507	0.004180188507
39	63	90676	0.987153806	35.82	88135.21	0.9910509	0.003897099891	0.003897099891
32	62	90738	0.987828775	53.20	88188.41	0.9916492	0.003820381719	0.003820381719
35	60	90798	0.988481972	44.47	88232.88	0.9921492	0.003667274700	0.003667274700
36	58	90856	0.989113395	42.04	88274.92	0.9926219	0.003508544024	0.003508544024
41	52	90908	0.989679498	32.41	88307.33	0.9929864	0.003306872073	0.003306872073
43	50	90958	0.990223829	29.46	88336.79	0.9933177	0.003093861113	0.003093861113
127	50	91008	0.990768159	3.38	88340.17	0.9933557	0.002587512714	0.002587512714
42	48	91056	0.991290716	30.88	88371.06	0.993703	0.002412239896	0.002412239896
40	47	91103	0.991802386	34.05	88405.11	0.9940858	0.002283450317	0.002283450317
46	41	91144	0.992248737	25.75	88430.85	0.9943753	0.002126612445	0.002126612445
44	37	91181	0.992651542	28.14	88458.99	0.9946918	0.002040238520	0.002040238520
45	35	91216	0.993032573	26.90	88485.90	0.9949943	0.001961730490	0.001961730490
48	35	91251	0.993413604	23.65	88509.54	0.9952602	0.001846588798	0.001846588798
47	32	91283	0.993761975	24.66	88534.20	0.9955375	0.001775541733	0.001775541733
49	32	91315	0.994110347	22.69	88556.90	0.9957927	0.001682317966	0.001682317966
126	30	91345	0.994436945	3.43	88560.33	0.9958313	0.001394306948	0.001394306948
52	29	91374	0.994752656	20.15	88580.47	0.9960578	0.001305152122	0.001305152122
50	29	91403	0.995068368	21.79	88602.27	0.9963029	0.001234484325	0.001234484325
51	27	91430	0.995362306	20.95	88623.21	0.9965384	0.001176074390	0.001176074390
55	25	91455	0.995634471	18.01	88641.22	0.9967409	0.001106424759	0.001106424759
57	22	91477	0.995873977	16.77	88657.99	0.9969294	0.001055472656	0.001055472656

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Autores Contribución	Autores Observados	Acumulado Aut-observados	S (x)	1/m ²	Teor-Acum E	f (x)	f (x) · S (x)	/F (x) · S(x)/
124	21	91498	0.996102595	3.54	88661.53	0.9969693	0.000866695870	0.000866695870
125	21	91519	0.996331214	3.49	88665.02	0.9970085	0.000677284162	0.000677284162
59	21	91540	0.996559833	15.65	88680.67	0.9971845	0.000624652061	0.000624652061
60	20	91560	0.996777565	15.13	88695.80	0.9973547	0.000577089231	0.000577089231
58	18	91578	0.996973524	16.20	88712.00	0.9975368	0.000563237763	0.000563237763
75	17	91595	0.997158596	9.69	88721.68	0.9976457	0.000487073810	0.000487073810
65	16	91611	0.997332782	12.89	88734.58	0.9977907	0.000457884431	0.000457884431
66	16	91627	0.997506967	12.51	88747.09	0.9979313	0.000424334510	0.000424334510
61	15	91642	0.997670267	14.64	88761.73	0.9980959	0.000425671117	0.000425671117
123	15	91657	0.997833566	3.60	88765.33	0.9981364	0.000302864431	0.000302864431
56	15	91672	0.997996865	17.37	88782.70	0.9983318	0.000334912732	0.000334912732
77	14	91686	0.998149277	9.19	88791.89	0.9984351	0.000285824494	0.000285824494
70	13	91699	0.998290803	11.12	88803.01	0.9985601	0.000269320949	0.000269320949
62	13	91712	0.998432329	14.17	88817.18	0.9987195	0.000287162767	0.000287162767
63	13	91725	0.998573855	13.73	88830.91	0.9988738	0.000299985446	0.000299985446
79	13	91738	0.998715381	8.73	88839.64	0.998972	0.000256618428	0.000256618428
128	13	91751	0.998856906	3.33	88842.96	0.9990094	0.000152483271	0.000152483271
67	13	91764	0.998998432	12.14	88855.10	0.9991459	0.000147426413	0.000147426413
73	13	91777	0.999139958	10.22	88865.32	0.9992608	0.000120858207	0.000120858207
76	12	91789	0.999270597	9.43	88874.75	0.9993669	0.000096280126	0.000096280126
69	12	91801	0.999401237	11.44	88886.20	0.9994956	0.000094313282	0.000094313282
82	12	91813	0.999531876	8.10	88894.30	0.9995867	0.000054781899	0.000054781899
71	12	91825	0.999662515	10.81	88905.11	0.9997082	0.000045668006	0.000045668006
122	11	91836	0.999782268	3.66	88908.77	0.9997493	-0.000032925730	0.000032925730
72	10	91846	0.999891134	10.51	88919.28	0.9998675	-0.000023618676	0.000023618676
68	10	91856	1	11.78	88931.06	1	0.000000000000	0.000000000000

$$D = \text{m}{\acute{a}}xima [f(x) - s(x)]$$

$$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$$

$$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$$

$$K - S = 1.63 / \sqrt{n}$$

$$0.0053782$$

<

donde: $f(x)$ = Distribuci3n acumulada te3rica
 $s(x)$ = Distribuci3n acumulada observada

$$n = 91856$$

$$D = \text{m}{\acute{a}}xima = 0.0195071$$

$$0.0053782$$

$$0.0195071$$

Este estadigr{a}fo establece que cuando el valor resultante o calculado por 3l es mayor o igual a la distancia m{a}xima identificada entre las muestras observadas y calculada, se puede afirmar que estad{ı}sticamente tales comportamientos son regulares; o lo que es igual que se cumple el modelo.

Anexo 3-2. Desarrollo del modelo matemático de Bradford

A TITULOS REVISTAS	B ARTICULOS REVISTAS	C = (A X B) TOTAL DE ARTICULOS	D ACUMULADO REVISTAS n	E ACUMULADO ARTICULOS R(n)	F Log DE REV.ACUM Log (n)	G CANTIDAD ART.CALC. Rc(n)	H (E - G) RESIDUALES R(n) - Rc(n)	I R(n) - Rc(n) % R(n)
1	2767	2767	1	2767	0	-18606.08571	21373.08571	7.724281068
1	1841	1841	2	4608	0.301029996	-11023.05694	15631.05694	3.392156454
1	1707	1707	3	6315	0.477121255	-6587.269467	12902.26947	2.043114722
1	796	796	4	7111	0.602059991	-3440.028169	10551.02817	1.48376152
1	683	683	5	7794	0.698970004	-998.8381623	8792.838162	1.128154755
1	676	676	6	8470	0.77815125	995.7593054	7474.240695	0.882436918
1	583	583	7	9053	0.84509804	2682.167435	6370.832565	0.70372612
1	542	542	8	9595	0.903089987	4143.000604	5451.999396	0.568212548
1	531	531	9	10126	0.954242509	5431.546779	4694.453221	0.463603913
1	523	523	10	10649	1	6584.190611	4064.809389	0.381708084
1	490	490	11	11139	1.041392685	7626.883788	3512.116212	0.315299058
1	473	473	12	11612	1.079181246	8578.788078	3033.211922	0.261213565
1	435	435	13	12047	1.113943352	9454.455141	2592.544859	0.215202528
1	431	431	14	12478	1.146128036	10265.19621	2212.803792	0.177336415
1	405	405	15	12883	1.176091259	11019.97808	1863.021915	0.144610876
1	389	389	16	13272	1.204119983	11726.02938	1545.970623	0.116483621
1	365	365	17	13637	1.230448921	12389.26262	1247.737381	0.091496471
1	356	356	18	13993	1.255272505	13014.57555	978.4244476	0.069922422
1	326	326	19	14319	1.278753601	13606.07085	712.9291548	0.049789032
1	324	324	20	14643	1.301029996	14167.21938	475.7806165	0.032492018
1	304	304	21	14947	1.322219295	14700.98368	246.0163178	0.016459244
1	303	303	22	15250	1.342422681	15209.91256	40.0874395	0.002628685
3	290	870	25	16120	1.397940009	16608.40939	-488.4093899	-0.030298349
1	285	285	26	16405	1.414973348	17037.48391	-632.4839135	-0.038554338
1	277	277	27	16682	1.431363764	17450.36303	-768.3630264	-0.046059407
1	274	274	28	16956	1.447158031	17848.22498	-892.2249811	-0.052620015
1	271	271	29	17227	1.462397998	18232.12395	-1005.12395	-0.05834585
1	268	268	30	17495	1.477121255	18603.00686	-1108.006858	-0.063332773
1	266	266	31	17761	1.491361694	18961.72745	-1200.727454	-0.067604721
2	263	526	33	18287	1.51851394	19645.70003	-1358.700035	-0.074298684
2	256	512	35	18799	1.544068044	20289.41499	-1490.414987	-0.07928161
1	241	241	36	19040	1.556302501	20597.60433	-1557.604325	-0.08180695

m = 26403
p = 82
r = 321.98

2	238	476	38	19516	1.579783597	21189.09962	-1673.099618	-0.085729638
1	237	237	39	19753	1.591064607	21473.27139	-1720.271388	-0.08708912
1	224	224	40	19977	1.602059991	21750.24816	-1773.248156	-0.088764487
2	220	440	42	20417	1.62324929	22284.01246	-1867.012455	-0.091444015
1	189	189	43	20606	1.633468456	22541.43605	-1935.43605	-0.093925849
1	188	188	44	20794	1.643452676	22792.94133	-1998.941333	-0.096130679
1	182	182	45	20976	1.653212514	23038.79433	-2062.794332	-0.098340691
1	181	181	46	21157	1.662757832	23279.24353	-2122.243527	-0.100309284
2	171	342	48	21499	1.681241237	23744.84562	-2245.845624	-0.104462795
2	167	334	50	21833	1.698970004	24191.43816	-2358.438163	-0.108021718
1	160	160	51	21993	1.707570176	24408.07887	-2415.078866	-0.109811252
2	159	318	53	22311	1.72427587	24828.8999	-2517.899901	-0.112854641
1	157	157	54	22468	1.73239376	25033.3918	-2565.391799	-0.114179802
2	155	310	56	22778	1.748188027	25431.25375	-2653.253754	-0.116483175
1	153	153	57	22931	1.755874856	25624.88709	-2693.887092	-0.11747796
1	149	149	58	23080	1.763427994	25815.15272	-2735.152723	-0.118507484
2	148	296	60	23376	1.77815125	26186.03563	-2810.03563	-0.120210285
3	146	438	63	23814	1.799340549	26719.79993	-2905.799929	-0.122020657
1	145	145	64	23959	1.806179974	26892.08692	-2933.086923	-0.122421091
2	144	288	66	24247	1.819543936	27228.72881	-2981.728807	-0.122973102
3	142	426	69	24673	1.838849091	27715.031	-3042.031001	-0.123293925
1	140	140	70	24813	1.84509804	27872.44376	-3059.44376	-0.123300035
1	139	139	71	24952	1.851258349	28027.62364	-3075.623639	-0.123261608
2	138	276	73	25228	1.86332286	28331.53201	-3103.532015	-0.123019344
1	137	137	74	25365	1.86923172	28480.37782	-3115.377821	-0.122821913
1	135	135	75	25500	1.875061263	28627.22564	-3127.225637	-0.122636299
1	133	133	76	25633	1.880813592	28772.12839	-3139.128391	-0.122464339
1	132	132	77	25765	1.886490725	28915.13694	-3150.136937	-0.122264193
1	129	129	78	25894	1.892094603	29056.30016	-3162.30016	-0.122124823
1	128	128	79	26022	1.897627091	29195.66508	-3173.665077	-0.121960844
3	127	381	82	26403	1.913813852	29603.41406	-3200.414062	-0.121214031
2	126	252	84	26655	1.924279286	29867.04123	-3212.041228	-0.120504267
2	121	242	86	26897	1.934498451	30124.46482	-3227.464823	-0.119993487
2	120	240	88	27137	1.944482672	30375.97011	-3238.970106	-0.119356233
2	117	234	90	27371	1.954242509	30621.8231	-3250.823105	-0.118768883
1	116	116	91	27487	1.959041392	30742.70829	-3255.70829	-0.118445385
2	115	230	93	27717	1.968482949	30980.5437	-3263.543701	-0.1177452
1	114	114	94	27831	1.973127854	31097.55014	-3266.550142	-0.117370922

m1 = 26475

2	113	226	96	28057	1.982271233	31327.8744	-3270.874397	-0.11657962
1	112	112	97	28169	1.986771734	31441.24327	-3272.243267	-0.116164694
3	111	333	100	28502	2	31774.46694	-3272.466936	-0.114815344
1	110	110	101	28612	2.004321374	31883.32354	-3271.323535	-0.11433397
1	109	109	102	28721	2.008600172	31991.10764	-3270.107639	-0.113857722
2	107	214	104	28935	2.017033339	32203.54146	-3268.541459	-0.112961516
1	106	106	105	29041	2.021189299	32308.23123	-3267.231234	-0.112504089
2	105	210	107	29251	2.029383778	32514.65242	-3263.652415	-0.111574046
1	104	104	108	29355	2.033423755	32616.42057	-3261.420572	-0.111102728
1	103	103	109	29458	2.037426498	32717.25076	-3259.250761	-0.110640599
2	102	204	111	29662	2.045322979	32916.1653	-3254.165295	-0.109708222
1	101	101	112	29763	2.049218023	33014.28253	-3251.282527	-0.109239073
2	99	198	114	29961	2.056904851	33207.91587	-3246.915865	-0.108371412
2	98	196	116	30157	2.064457989	33398.1815	-3241.181496	-0.107476921
3	97	291	119	30448	2.075546961	33677.51577	-3229.515769	-0.106066598
3	95	285	122	30733	2.086359831	33949.89493	-3216.894934	-0.104672337
6	94	564	128	31297	2.10720997	34475.1157	-3178.115696	-0.101546976
1	92	92	129	31389	2.11058971	34560.2523	-3171.252297	-0.101030689
4	92	368	133	31757	2.123851641	34894.32399	-3137.323995	-0.098791573
6	90	540	139	32297	2.1430148	35377.04927	-3080.049273	-0.09536642
4	89	356	143	32653	2.155336037	35687.42464	-3034.424643	-0.092929429
2	88	176	145	32829	2.161368002	35839.3715	-3010.371502	-0.091698544
1	87	87	146	32916	2.164352856	35914.56079	-2998.560788	-0.091097363
3	85	255	149	33171	2.173186268	36137.07689	-2966.076893	-0.089417771
3	84	252	152	33423	2.181843588	36355.15716	-2932.157164	-0.087728725
2	83	166	154	33589	2.187520721	36498.16571	-2909.16571	-0.086610667
3	82	246	157	33835	2.195899652	36709.23331	-2874.233312	-0.084948524
1	81	81	158	33916	2.198657087	36778.69385	-2862.69385	-0.084405409
2	80	160	160	34076	2.204119983	36916.3057	-2840.305702	-0.083352087
3	79	237	163	34313	2.212187604	37119.53132	-2806.531323	-0.081792071
2	78	156	165	34469	2.217483944	37252.94759	-2783.947587	-0.080766706
9	77	693	174	35162	2.240549248	37833.96897	-2671.96897	-0.075990244
6	76	456	180	35618	2.255272505	38204.85188	-2586.851877	-0.072627657
4	75	300	184	35918	2.264817823	38445.30107	-2527.301073	-0.070363079
3	74	222	187	36140	2.271841607	38622.23212	-2482.232121	-0.068683789
2	73	146	189	36286	2.276461804	38738.61618	-2452.616176	-0.067591252
4	72	288	193	36574	2.285557309	38967.73446	-2393.734456	-0.065449075
1	71	71	194	36645	2.28780173	39024.27204	-2379.272039	-0.064927604

$p1 = 487$
 $r1 = 54.36$

4	70	280	198	36925	2.29666519	39247.54505	-2322.545054	-0.062898986
8	69	552	206	37477	2.31386722	39680.86895	-2203.868946	-0.058805906
4	68	272	210	37749	2.322219295	39891.26001	-2142.260007	-0.056750113
5	67	335	215	38084	2.33243846	40148.6836	-2064.683602	-0.054213938
4	66	264	219	38348	2.340444115	40350.34826	-2002.348262	-0.052215194
2	65	130	221	38478	2.344392274	40449.80347	-1971.803474	-0.051244957
6	66	396	227	38874	2.356025857	40742.85666	-1868.856657	-0.04807472
7	63	441	234	39315	2.369215857	41075.11641	-1760.116407	-0.044769589
6	62	372	240	39687	2.380211242	41352.09318	-1665.093176	-0.041955632
4	61	244	244	39931	2.387389826	41532.92371	-1601.923707	-0.040117295
2	60	120	246	40051	2.390935107	41622.23031	-1571.230309	-0.039230739
3	59	177	249	40228	2.396199347	41754.83797	-1526.837969	-0.037954608
4	58	232	253	40460	2.403120521	41929.18426	-1469.184256	-0.036312018
4	58	232	257	40692	2.409933123	42100.79559	-1408.795587	-0.034620947
4	57	228	261	40920	2.416640507	42269.75644	-1349.756444	-0.03298525
5	56	280	266	41200	2.424881637	42477.35277	-1277.352768	-0.031003708
6	55	330	272	41530	2.434568904	42721.37771	-1191.377711	-0.028687159
6	54	324	278	41854	2.444044796	42960.07805	-1106.078046	-0.026427057
5	53	265	283	42119	2.451786436	43155.09209	-1036.092086	-0.024599162
12	52	624	295	42743	2.469822016	43609.41334	-866.4133418	-0.020270298
9	51	459	304	43202	2.482873584	43938.18594	-736.1859369	-0.017040552
7	50	350	311	43552	2.492760389	44187.2373	-635.2372973	-0.01458572
2	49	98	313	43650	2.495544338	44257.36573	-607.3657298	-0.01391445
6	48	288	319	43938	2.503790683	44465.09345	-527.0934519	-0.011996301
10	47	470	329	44408	2.517195898	44802.77452	-394.7745192	-0.008889716
9	46	414	338	44822	2.5289167	45098.02477	-276.0247686	-0.006158243
8	45	360	346	45182	2.539076099	45353.94282	-171.9428245	-0.00380556
8	44	352	354	45534	2.549003262	45604.01081	-70.01080947	-0.00153755
9	43	387	363	45921	2.559906625	45878.66954	42.33046343	0.000921811
6	42	252	369	46173	2.567026366	46058.01778	114.9822172	0.002490248
12	41	492	381	46665	2.580924976	46408.1276	256.8724029	0.005504605
11	40	440	392	47105	2.593286067	46719.5069	385.4930963	0.008183698
9	38	342	401	47447	2.603144373	46967.84035	479.1596541	0.01009884
22	37	814	423	48261	2.626340367	47552.15386	708.8461366	0.014687763
8	36	288	431	48549	2.63447727	47757.12469	791.875307	0.016310847
13	35	455	444	49004	2.64738297	48082.22284	921.777159	0.018810243
20	34	680	464	49684	2.666517981	48564.23904	1119.760959	0.022537657
11	33	363	475	50047	2.67669361	48820.56595	1226.43405	0.024505646

26	32	832	501	50879	2.699837726	49403.57263	1475.427367	0.028998749
14	31	434	515	51313	2.711807229	49705.08773	1607.912275	0.031335378
19	30	570	534	51883	2.727541257	50101.43224	1781.567762	0.034338179
15	29	435	549	52318	2.739572344	50404.49865	1913.501345	0.036574436
20	28	560	569	52878	2.755112266	50795.95358	2082.046417	0.03937453
21	27	567	590	53445	2.770852012	51192.44211	2252.557885	0.042147215
26	26	676	616	54121	2.789580712	51664.22326	2456.776744	0.045394149
35	25	875	651	54996	2.813580989	52268.79685	2727.203149	0.049589118
35	24	840	686	55836	2.836324116	52841.70251	2994.297492	0.053626648
29	23	667	715	56503	2.854306042	53294.67219	3208.327805	0.056781548
39	22	858	754	57361	2.877371346	53875.69358	3485.306422	0.060760908
32	21	672	786	58033	2.895422546	54330.4083	3702.591702	0.063801487
35	20	700	821	58733	2.914343157	54807.02372	3925.976281	0.06684447
40	19	760	861	59493	2.935003151	55327.45469	4165.545314	0.070017402
34	18	612	895	60105	2.951823035	55751.15221	4353.847792	0.072437364
40	17	680	935	60785	2.970811611	56229.47967	4555.520327	0.074944811
53	16	848	988	61633	2.994756945	56832.66925	4800.330754	0.077885723
53	15	795	1041	62428	3.01745073	57404.33196	5023.668041	0.080471392
63	14	882	1104	63310	3.042969073	58047.14609	5262.853907	0.083128319
81	13	1053	1185	64363	3.07371835	58821.72888	5541.271124	0.086094047
84	12	1008	1269	65371	3.103461622	59570.97011	5800.02989	0.088724815
76	11	836	1345	66207	3.128722284	60207.29317	5999.706828	0.09062043
116	10	1160	1461	67367	3.164650216	61112.3277	6254.672303	0.09284475
121	9	1089	1582	68456	3.199206479	61982.80952	6473.190483	0.09455987
148	8	1184	1730	69640	3.238046103	62961.19038	6678.809623	0.095904791
170	7	1190	1900	70830	3.278753601	63986.6235	6843.376505	0.096616921
220	6	1320	2120	72150	3.326335861	65185.23377	6964.766228	0.096531756
264	5	1320	2384	73470	3.377306251	66469.19198	7000.808016	0.095287982
413	4	1652	2797	75122	3.446692466	68217.04992	6904.950079	0.091916484
474	3	1422	3271	76544	3.514680544	69929.68839	6614.311614	0.086411889
777	2	1554	4048	78098	3.607240504	72261.29935	5836.700652	0.074735597
1335	1	1335	5383	79433	3.73102438	75379.44939	4053.550611	0.051031065

m2 = 26555
p1 = 4814
r1 = 5.51

a = -18606.08571
b = 25190.27633
r = 0.973108127

Zonas:
26477.66667

Anexo 3-3. Producción e impacto por disciplina científica y entidad federativa.

Entidad Federativa	Disciplinas por Entidad Federativa	80's		90's		00-04		Total Trabajos y Citas	
		Trabajos	Citas	Trabajos	Citas	Trabajos	Citas		
Aguascalientes	Med y C-Salud	3	16	24	119	50	75	77	218
	C-Biológicas			29	146	37	110	66	256
	Ingenierías			3	0	23	26	26	26
	C-Físicas			10	31	14	28	24	59
	Agrociencias			5	44	8	19	13	63
	C-Químicas			1	2	8	20	9	22
	C-Tierra			3	3	4	22	7	25
	Otras			1	13	5	4	6	17
BC	C-Físicas	111	1476	384	3767	415	1307	910	6550
	C-Biológicas	80	525	378	2271	354	846	812	3642
	C-Tierra	96	1075	192	1852	203	706	491	3633
	Ingenierías	45	122	155	1010	253	562	453	1694
	C-Químicas	17	194	76	598	108	359	201	1151
	Med y C-Salud	16	102	67	440	112	332	195	874
	Otras	7	8	15	38	59	50	81	96
	Agrociencias	3	9	21	58	19	14	43	81
BCS	Matemáticas			8	41	12	27	20	68
	C-Biológicas	52	338	506	3217	590	1565	1148	5120
	C-Físicas	1	4	154	2138	89	466	244	2608
	C-Tierra	1	2	53	273	96	266	150	541
	Ingenierías	1	5	60	373	68	211	129	589
	Med y C-Salud	9	103	65	692	90	261	164	1056
	C-Químicas	8	36	37	346	28	104	73	486
	Agrociencias			18	183	35	117	53	303
Campeche	Otras	1	0	8	117	29	38	38	155
	Matemáticas			1	2	3	12	5	14
	C-Biológicas	3	82	33	241	60	208	96	531
	Med y C-Salud	1	2	13	117	21	30	35	149
	Ingenierías			12	70	15	17	27	87
	C-Tierra			10	50	7	23	17	73
	C-Físicas	1	0	1	6	3	5	5	11
	C-Químicas			1	0	3	2	4	2
Coahuila	Otras			1	7	3	2	4	10
	Agrociencias					1	0	1	0
	Ingenierías	33	281	150	735	220	471	403	1487
	Med y C-Salud	13	242	50	313	50	92	113	647
	C-Biológicas	17	76	38	178	70	169	125	423
	C-Químicas	14	142	38	125	51	122	103	389
	Agrociencias	10	42	32	125	40	55	82	222
	C-Físicas	5	11	20	146	54	110	79	267
Coahuila	Matemáticas	2	10	12	73	24	37	38	120
	Otras	1	9	7	37	23	50	31	96
	C-Tierra	1	12	6	25	13	28	19	65

Colima	C-Biológicas	11	35	59	293	61	149	131	477
	Med y C-Salud	10	125	42	352	66	241	118	718
	C-Tierra	3	44	18	105	28	104	49	253
	Agrociencias	1	9	25	133	13	28	39	170
	Ingenierías	1	0	11	29	10	10	22	39
	C-Físicas			15	100	9	25	24	125
	Otras			4	48	10	25	14	73
	Matemáticas			2	14	3	5	5	19
	C-Químicas			1	0			1	0
Chiapas	C-Biológicas	64	650	173	1440	216	875	453	2965
	Med y C-Salud	28	406	86	1193	70	266	184	1865
	Agrociencias	7	35	13	61	31	98	51	194
	Ingenierías	1	8	6	514	20	189	27	711
	Otras	1	14	11	366	24	61	34	441
	C-Tierra			2	8	8	56	10	64
	C-Químicas	3	8	4	29	3	17	10	54
	Matemáticas					1	2	1	2
	C-Físicas			1	10				
Chihuahua	Ingenierías	18	72	63	473	165	309	246	854
	Med y C-Salud	23	109	15	265	72	195	110	569
	C-Biológicas	14	55	22	115	56	164	92	334
	C-Químicas	2	0	5	14	71	189	78	203
	C-Físicas	1	0	12	97	45	103	58	200
	Agrociencias	5	24	12	53	7	16	24	93
	C-Tierra	3	3	7	47	13	22	23	72
	Otras	1	8	1	4	15	1	17	118
	Matemáticas					3	1	3	1
DF	Med y C-Salud	4634	46941	7969	82845	7447	32431	20050	162217
	C-Biológicas	1923	24603	4495	43232	3993	15986	10411	83821
	C-Físicas	1988	25827	4646	44535	3711	16972	10345	87334
	Ingenierías	913	5684	2561	16261	3177	7631	6651	29576
	C-Químicas	1197	9384	2463	19540	2097	8180	5757	37104
	Otras	272	2894	878	6666	1869	2708	3019	12268
	C-Tierra	298	3210	772	7595	943	3085	2013	13890
	Matemáticas	348	2806	803	3407	759	1291	1910	7504
	Agrociencias	158	1304	617	6502	515	1393	1290	9199
Durango	Med y C-Salud	12	220	47	1350	76	227	135	1797
	C-Biológicas	8	50	30	231	50	58	88	339
	Ingenierías			6	32	17	24	23	56
	Agrociencias	1	0	8	50	11	20	20	70
	C-Químicas			4	21	8	16	12	37
	C-Tierra	1	12	4	20	8	14	13	46
	Otras			2	2	2	6	4	8
	C-Físicas					1	0	1	0
Edo. México	C-Biológicas	103	667	235	1941	394	1067	732	3675
	Med y C-Salud	38	454	144	1028	238	587	420	2069
	Agrociencias	34	248	105	634	217	211	356	1093

	Ingenierías	11	34	86	368	192	404	289	806
	C-Químicas	21	173	124	738	112	304	257	1215
	C-Físicas	6	23	72	223	216	319	294	565
	Otras	5	103	27	71	76	115	108	289
	C-Tierra	6	29	28	431	57	90	91	550
	Matemáticas	7	96	12	49	19	13	38	158
Guanajuato	C-Físicas	62	445	552	3333	592	2915	1206	6693
	C-Biológicas	57	557	300	3605	263	1043	620	5205
	Ingenierías	53	453	205	1572	328	874	586	2899
	Med y C-Salud	34	125	155	1505	153	418	342	2048
	C-Químicas	30	129	131	1136	137	416	298	1681
	Matemáticas	12	272	98	324	147	223	257	819
	Agrociencias	10	76	35	356	62	115	107	547
	Otras	1	0	17	72	46	50	64	122
	C-Tierra	2	65	18	356	12	22	32	443
Guerrero	Med y C-Salud	6	17	13	213	19	44	38	274
	Ingenierías	6	6	8	53	5	26	19	85
	C-Tierra	2	6	2	31	13	38	17	75
	C-Biológicas	3	10	4	56	10	8	17	74
	Agrociencias			4	38	7	9	11	47
	C-Químicas	4	5	2	27	3	9	9	41
	Otras			1	1			1	1
	C-Físicas			1	0			1	0
Hidalgo	C-Químicas	8	105	20	121	57	197	85	423
	C-Biológicas	19	148	15	84	50	151	84	383
	Ingenierías	3	4	11	111	48	81	62	196
	Med y C-Salud	9	50	10	33	32	85	51	168
	C-Físicas	1	1	3	4	25	28	29	34
	C-Tierra	1	2	7	79	7	4	10	85
	Otras			1	2	13	39	14	41
	Matemáticas			1	0	6	8	7	8
	Agrociencias	1	0			5	6	6	6
Jalisco	Med y C-Salud	458	2504	494	4186	675	1828	1627	8518
	C-Biológicas	65	799	218	1991	282	786	565	3576
	Ingenierías	15	152	114	880	235	470	364	1502
	C-Físicas	2	25	86	579	124	477	212	1081
	Otras			56	185	173	222	225	412
	C-Químicas	23	127	62	694	34	134	119	955
	Agrociencias	4	41	31	141	35	119	69	301
	C-Tierra	7	195	19	144	43	102	69	441
	Matemáticas	2	2	3	26	8	16	13	44
Michoacán	C-Físicas	9	11	65	684	317	1777	391	2472
	C-Biológicas	11	59	90	735	238	1041	339	1835
	Ingenierías	9	15	53	303	232	523	294	841
	Matemáticas	1	4	29	76	109	125	139	205
	Med y C-Salud	11	51	39	446	69	197	119	694
	C-Tierra	3	50	28	194	44	114	75	358

	C-Químicas	3	2	11	16	50	74	64	92
	Agrociencias	1	3	11	58	30	65	42	126
	Otras			9	38	32	83	41	142
Morelos	C-Biológicas	77	1705	752	14743	849	6182	1678	22630
	Med y C-Salud	52	1147	537	7769	774	3736	1363	12652
	C-Físicas	69	640	528	4528	660	2544	1257	7712
	Ingenierías	122	775	486	2438	643	1229	1251	4442
	C-Químicas	20	88	210	1707	261	1089	491	2884
	C-Tierra	16	518	89	552	161	279	266	1349
	Matemáticas	6	40	34	172	74	118	114	330
	Otras	8	129	37	183	128	231	172	543
	Agrociencias	4	160	27	303	56	138	87	601
Nayarit	Med y C-Salud			4	16	6	10	10	26
	C-Biológicas			6	28	8	9	14	3
	Ingenierías			4	14	4	8	8	22
	Agrociencias					3	6	3	6
	C-Tierra					1	2	1	2
	C-Físicas					1	0	1	0
	C-Químicas					1	1	1	1
Nuevo León	Med y C-Salud	264	2020	379	3050	416	1539	1059	6609
	C-Biológicas	104	776	236	1442	285	738	625	2956
	Ingenierías	36	166	142	713	289	530	467	1409
	C-Químicas	36	257	48	258	83	385	167	900
	C-Físicas	3	18	37	196	71	297	111	511
	Otras	5	49	44	289	83	249	174	484
	Agrociencias	11	41	38	171	30	53	79	265
	C-Tierra	6	89	21	319	38	155	65	563
	Matemáticas	4	112	12	87	25	46	74	245
Oaxaca	Med y C-Salud	3	66	11	193	23	61	37	320
	C-Biológicas	2	22	19	103	33	61	54	186
	Ingenierías			6	13	26	38	32	51
	C-Químicas			5	63	5	5	10	68
	C-Físicas	1	0			9	6	10	6
	C-Tierra					9	9	9	9
	Agrociencias			2	12	6	12	8	24
	Matemáticas			2	15	4	1	6	16
	Otras	2	34	1	3	3	1	6	38
Puebla	C-Físicas	256	1595	979	7636	1009	4418	2244	13649
	Med y C-Salud	101	596	254	2145	314	1333	669	4074
	Ingenierías	51	229	196	873	332	488	579	1590
	C-Químicas	52	103	122	604	192	550	366	1257
	C-Biológicas	17	114	89	705	118	446	224	1265
	Otras	5	69	80	149	111	123	196	342
	Matemáticas	17	218	33	83	44	61	94	362
	C-Tierra	1	5	6	29	18	46	25	80
	Agrociencias	5	34	8	91	8	4	21	129
Querétaro	Agrociencias	6	67	27	216	59	156	92	439

	Ingenierías	4	22	119	588	378	1090	501	1700
	C-Biológicas	2	18	73	683	136	350	211	1051
	Med y C-Salud	1	18	87	868	252	921	340	1807
	C-Físicas	1	8	75	633	209	1009	285	1650
	Otras	1	1	18	122	84	345	101	432
	C-Químicas			52	371	121	555	173	926
	C-Tierra			27	216	108	229	135	445
						5	16	5	16
Quintana Roo	C-Biológicas			11	96	19	39	30	135
	C-Tierra			5	32	7	16	12	48
	Med y C-Salud					1	13	1	13
San Luis Potosí	C-Físicas	46	549	212	2114	301	1159	559	3822
	Ingenierías	5	29	106	594	195	667	306	1290
	Med y C-Salud	63	703	98	775	119	478	280	1956
	C-Químicas	11	183	49	326	100	405	160	914
	C-Biológicas	11	61	53	602	76	176	140	839
	Matemáticas	3	8	12	39	46	110	61	157
	C-Tierra	2	22	12	147	32	98	46	267
	Agrociencias			4	14	16	11	20	25
	Otras	2	5	1	8	12	58	17	97
Sinaloa	C-Biológicas	36	328	122	779	222	529	380	1636
	Medi y C-Salud	4	63	31	324	54	145	89	532
	Ingenierías	1	2	21	336	50	115	72	453
	C-Físicas	1	9	16	87	25	63	42	159
	C-Tierra	8	77	9	62	18	38	35	277
	C-Químicas	3	9	8	34	22	54	33	97
	Agrociencias			16	106	16	27	32	133
	Otras			1	6	14	136	15	142
	Matemáticas			1	3	3	1	4	4
Sonora	C-Biológicas	62	526	200	1375	251	873	513	2774
	Ingenierías	64	576	162	1047	173	550	399	2173
	C-Físicas	42	480	176	1305	127	290	345	2075
	Med y C-Salud	24	117	96	683	127	390	247	1190
	C-Químicas	42	347	98	798	90	343	230	1488
	C-Tierra	9	84	33	356	73	364	115	804
	Agrociencias	9	52	53	278	50	296	112	626
	Otras	6	23	16	58	44	78	66	159
	Matemáticas	3	0	10	39	11	12	24	51
Tabasco	C-Biológicas	6	134	5	25	30	54	41	213
	Med y C-Salud	7	14	14	73	19	89	40	176
	Ingenierías			6	0	22	11	28	11
	Agrociencias	5	114	1	86	11	9	17	209
	Otras			1	3	11	9	12	12
	C-Tierra			4	8	8	9	12	17
	Matemáticas					7	1	7	1
	C-Químicas	1	0	1	8	5	2	7	10
	C-Físicas					5	2	5	2

Tamaulipas	C-Biológicas	19	64	63	407	64	122	146	593
	Ingenierías	2	0	12	161	68	196	82	357
	Med y C-Salud	24	57	13	156	36	127	73	340
	Agrociencias	3	37	13	72	19	61	35	170
	C-Químicas			3	18	27	124	30	142
	C-Físicas			1	0	15	13	16	13
	Otras			3	69	9	15	14	84
	C-Tierra	1	0	1	0	7	9	9	9
	Matemáticas					1	2	5	2
Tlaxcala	Med y C-Salud	14	268	35	399	38	119	87	786
	Otras	24	392	34	353	30	104	88	849
	C-Biológicas			28	166	32	100	60	266
	Ingenierías	1	19			10	15	10	15
	Agrociencias					4	1	4	1
	C-Físicas			1	0	1	6	2	6
	C-Tierra			1	18	2	0	3	18
	C-Químicas					1	0	1	0
Veracruz	C-Biológicas	89	695	415	3406	442	1341	946	5442
	Ingenierías	14	44	100	739	126	393	240	1176
	Med y C-Salud	17	56	93	742	112	387	222	1185
	Otras	4	10	55	575	58	169	117	754
	Agrociencias	17	125	36	270	40	82	93	477
	C-Químicas	14	11	27	142	36	65	77	218
	C-Tierra	2	0	23	146	27	46	13	192
	C-Físicas	10	25	15	35	22	24	47	84
	Matemáticas	2	65	9	29	8	2	19	96
Yucatán	C-Biológicas	28	190	233	1729	322	903	583	2822
	Med y C-Salud	34	109	148	1128	159	487	341	1724
	C-Físicas	3	8	109	1068	159	1216	271	2292
	Ingenierías	10	20	114	659	128	325	252	1004
	C-Químicas	5	36	41	188	54	247	100	471
	Agrociencias	5	30	35	173	47	72	87	275
	C-Tierra	3	23	23	172	34	67	60	262
	Otras	4	2	8	7	49	67	48	68
	Matemáticas	1	3	1	1	9	13	11	17
Zacatecas	C-Físicas	3	43	71	391	96	366	170	800
	Med y C-Salud	29	122	28	176	34	83	91	381
	Ingenierías	2	2	16	38	44	121	62	161
	C-Biológicas	1	3	24	129	29	56	54	188
	C-Químicas	1	5	16	71	19	94	36	170
	Agrociencias	1	3	6	10	8	11	15	24
	Matemáticas			10	28	2	0	12	28
	C-Tierra	1	2	3	4	3	0	7	6
	Otras			2	4	6	10	10	14

Anexo 3-4. Trabajos con más de 400 citas acumuladas.

Año	Ubicación Geografía	Título del trabajo	Citas	Institución de adscripción del autor	Instituciones colaboración
1997	Morelos	The complete genome sequence of Escherichia coli K-14	2709	UNAM, Ctro de Investigaciones Geonómicas	3
2000	DF	Comparison of upper gastrointestinal toxicity of rofecoxi band naproxenin patients with rheumatoid arthritis.	1664	SSA, Hospital General de México UNAM, Facultad de Medicina	16
2002	DF	A randomized comparison of a sirolimus-eluting stent with a standard stent for coronary revascularization.	1322	SSA, Instituto Nacional de Cardiología, I. Chávez	13
2001	USA	Involvement of chemokine receptors in breast cancer metastasis	1257	SSA, Instituto Nacional de Cancerología	2
1981	DF	Random-Matrix Physics - Spectrum And Strength Fluctuations	1083	UNAM, Instituto de Física	3
1998	DF	Inhibition of the platel et glyco protein IIb/IIIareceptor with tiro fibanin unstable ang inaandnon-Q-wavemyocardialinfarction	862	ISSSTE, Hosp Regional 1ro Octubre	67
1995	DF	Isis-4 - A Randomized Factorial Trial Assessing Early Oral Captopril, Oral Mononitrate, And Intravenous Magnesium-Sulfate In 58,050 Patients With Suspected Acute Myocardial-Infarction	731	SSA, Instituto Nacional de Cardiol I. Chávez	41
2001	DF	Involvement of chemokine receptors in breast cancer metastasis	721	SSA, Instituto Nacional de Cardiología I Chávez UNAM, Instituto de Fisiología Celular SSA, Instituto Nacional de Cancerología UNAM, Instituto de Investigaciones Biomédicas	7
1993	DF	Development Of The Alcohol-Use Disorders Identification Test (Audit) – Who Collaborative Project On Early Detection Of Persons With Harmful Alcohol-Consumption .2.	697	SSA, Instituto Nacional de Psiquiatría	5
2002	DF	Bosentan therapy for pulmonary arterial hypertension	691	SSA, Instituto Nacional de Cardiol I. Chávez	16
1992	DF	Systemic Treatment Of Early Breast-Cancer By Hormonal, Cytotoxic, Or Immune Therapy – 133 Randomized Trials Involving 31000 Recurrences And 24000 Deaths Among 75000 Women .2.	666	IMSS, Centro Medico Nacional la Raza	94
1992	DF	Genetic-Linkage Evidence For A Familial Alzheimers-Disease Locus On Chromosome-14	630	SSA, Instituto Nacional de Neurología & Neurocirugía	7
1995	DF	Observation Of The Top-Quark	623	CINVESTAV, Departamento de Física	42
1980	DF	Construction And Characterization Of New Cloning Vehicles .4. Deletion Derivatives Of Pbr322 And Pbr325	605	UNAM, Instituto de Investigaciones Biomédicas	1
2004	DF	Extinction risk from climate change	583	UNAM, Instituto de Biología	1
1996	BC	A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean	562	CICESE, Departamento de Oceanografía Física	5

Año	Ubicación Geografía	Título del trabajo	Citas	Institución de adscripción del autor	Instituciones colaboración
1989	DF	Antiphospholipid Antibodies And The Antiphospholipid Syndrome In Systemic Lupus-Erythematosus - A Prospective Analysis Of 500 Consecutive Patients	516	SSA, INCMN-SZ	1
1987	DF	Open Microsurgical Autograft Of Adrenal-Medulla To The Right Caudate-Nucleus In 2 Patients With Intractable Parkinsons-Disease	509	IMSS, Centro Medico Nacional la Raza UNAM, Instituto de Fisiología Celular	2
1994	DF	A Superluminal Source In The Galaxy	452	UNAM, Instituto Nacional de Astronomía	3
1997	DF	Dietaryfiber, glycemload, andriskofnon-insulin-dependentdiabetesmellitusinwomen	439	IMSS, Centro Medico Nacional la Raza	3
2000	DF	Singlecellgel/cometassay:Guidelinesforinvitroandinvivogenetictoxicologytesting	420	UNAM, Instituto de Investigaciones Biomédicas	14
1995	DF	Effects Of Radiotherapy And Surgery In Early Breast-Cancer - An Overview Of The Randomized Trials	413	IMSS, Centro Medico Nacional la Raza	85
1996	DF	ModulationofCa ²⁺ channelsbyG-proteinbetagamma subunits	407	UNAM, Facultad de Medicina	2

23 trabajos más citados en el periodo analizado.