

Universidad de Costa Rica

Sistema de Estudios de Posgrado

*Programa de Maestría en Microbiología, Inmunología,
Parasitología, y Análisis Clínicos*

Métodos de Investigación

destrezas básicas para el trabajo científico
en las disciplinas biomédicas



Bruno Lomonte, Ph.D.

Cecilia Díaz, Ph.D.

José María Gutiérrez, Ph.D.

Edgardo Moreno, Ph.D.

Instituto Clodomiro Picado
Facultad de Microbiología
Universidad de Costa Rica

2020

1ª Edición Electrónica

Métodos de Investigación:

destrezas básicas para el trabajo científico

en las disciplinas biomédicas

Primera Edición Electrónica, 2020

Este texto puede descargarse libremente por internet, en las siguientes direcciones:

- Repositorio 'Kerwá' de la Universidad de Costa Rica:
<http://www.kerwa.ucr.ac.cr>
- ResearchGate:
<https://www.researchgate.net>



para comentarios o sugerencias, puede dirigirse a:

bruno.lomonte@ucr.ac.cr
cecilia.diaz@ucr.ac.cr
jose.gutierrez@ucr.ac.cr
edgardo.moreno.robles@una.cr

Prefacio

Esta obra didáctica nace con el objetivo de presentar a sus lectores una visión introductoria sobre el fenómeno científico actual, sus orígenes, su contexto costarricense, y posteriormente presentar las principales destrezas generales que involucra la investigación científica y tecnológica. El texto va dirigido especialmente, aunque no exclusivamente, a estudiantes de posgrado en las disciplinas biomédicas. De hecho, en gran medida esta obra se apoya en las experiencias de los autores en el dictado del curso 'Métodos de Investigación (SP-5314)' del Programa de Posgrado en Microbiología, Parasitología, Química Clínica e Inmunología que se imparte en la Universidad de Costa Rica, así como en su labor de guía y supervisión de las tesis de posgrado realizadas por numerosos estudiantes.

Los diversos temas se presentan en un estilo llano, y en ocasiones incluso coloquial, utilizando un formato electrónico con la finalidad de facilitar un acceso libre, tanto a los estudiantes del programa arriba citado como programas afines, tanto en Costa Rica como en otros países de habla Hispana. Se han ilustrado los temas con diversas imágenes de licencias *Creative Commons* tomadas de la *Web*, así como de elaboración propia de los autores. Esperamos que este texto pueda enriquecerse y evolucionar a partir de esta primera edición electrónica, con los comentarios y observaciones de sus lectores, que de antemano agradecemos.

Bruno Lomonte, Cecilia Díaz, José María Gutiérrez y Edgardo Moreno
San José, Agosto de 2020

Sobre los Autores



Bruno Lomonte, Ph.D.

Licenciado en Microbiología y Química Clínica, UCR, 1981; M.Sc. en Microbiología e Inmunología, UCR, 1986; *Fulbright Research Scholar*, Universidad de Wisconsin, 1987; Ph.D. en Inmunología, Universidad de Göteborg, 1994. Catedrático e investigador del Instituto Clodomiro Picado (Facultad de Microbiología) de la UCR. Su trabajo investigativo sobre inmunología y bioquímica de venenos y toxinas ofídicas se ha reconocido con el Premio Nacional de Ciencias "Clodomiro Picado" (1986), el Premio en Ciencias Biológicas TWAS (*The World Academy of Sciences*)-CONICIT (1997), y el Premio al Investigador en Ciencias Biomédicas de la UCR (2010). En el Sistema de Estudios de Posgrado de la UCR ha ocupado el cargo de Director del Programa de Maestría en Microbiología (1999-2001) y Director del Programa de Doctorado en Ciencias (2001-2009).



Cecilia Díaz, Ph.D.

Bióloga de la Universidad de Costa Rica (1987), con una maestría en Fisiología Humana del Posgrado en Ciencias Biomédicas, UCR (1992), y un doctorado en Biología Celular de la Universidad de Texas-MD Anderson Cancer Center en Estados Unidos (1998). Profesora Catedrática e investigadora del Departamento de Bioquímica de la Escuela de Medicina de la UCR y del Instituto Clodomiro Picado. Actualmente tiene dos líneas principales de investigación, en temas relacionados con toxinas y venenos (recientemente ha incursionado en venenos de organismos como peces y escorpiones) y también investiga en el tema de los mecanismos de carcinogénesis y metástasis de tumores gástricos. Fue directora del Programa de Posgrado en Ciencias Biomédicas (2006-2012) y Decana del Sistema de Estudios de Posgrado (2012-2016), ambos de la UCR.



José María Gutiérrez, Ph.D.

Licenciado en Microbiología y Química Clínica, UCR (1977); Ph.D. en Ciencias Fisiológicas, Oklahoma State University (1984). Profesor Catedrático e investigador del Instituto Clodomiro Picado (Facultad de Microbiología) de la UCR. Ha investigado en temas relacionados con bioquímica y toxicología de venenos de serpientes, así como con la evaluación de la eficacia preclínica de antivenenos y el desarrollo de antivenenos para diversas regiones del mundo. Fue Director del Instituto Clodomiro Picado (1988-1996) y del Programa de Maestría en Microbiología (1986-1988) de la UCR. Ha sido asesor de la Organización Mundial de la Salud en el tema de antivenenos. Por su labor académica ha recibido varios reconocimientos nacionales e internacionales.



Edgardo Moreno, Ph.D.

Licenciado en Microbiología y Química Clínica, UCR, 1975; Ph.D. en Ciencias Veterinarias, Universidad de Wisconsin, 1979; Postdoctorado en Max Planck Institute, 1986. Científico dedicado a la investigación, enseñanza y promoción de la ciencia. Sus actividades las realiza tanto en la Universidad Nacional como en la UCR. Su investigación gira en torno a los mecanismos que usan las bacterias intracelulares (en particular del género *Brucella*) para producir enfermedad, a la estructura y función de las bacterias, su evolución y su diagnóstico. Ha dirigido programas nacionales e internacionales de posgrado y de promoción de la ciencia en Centroamérica y Latinoamérica. Ha sido asesor científico en varias instituciones públicas y privadas y ha recibido reconocimientos nacionales e internacionales por su labor. Parte de su tiempo lo dedica a la popularización de la ciencia.

Indice

Prefacio	3
Sobre los autores	4
Indice	5
Capítulo 1: Introducción	
1.1 Investigación y formación	8
Capítulo 2: El surgimiento de la ciencia moderna	
2.1 El conocimiento de la realidad en la historia de la humanidad	10
2.2 La 'revolución científica' y el surgimiento de la 'ciencia moderna'	11
2.3 ¿Cuáles son las principales características de esa forma de estudiar la realidad denominada 'ciencia moderna'?	13
2.4 Las raíces complejas y multifactoriales de la revolución científica	16
2.5 A manera de conclusión	23
Capítulo 3: Ciencia en el mundo, ciencia en Costa Rica	
3.1 Introducción	24
3.2 Ciencia y riqueza: desbalance mundial	24
3.3 El ciclo ciencia-tecnología-industria	25
3.4 Los matices de la investigación: ciencia básica, ciencia aplicada	30
3.5 Las fuentes de financiación de la ciencia	31
3.6 Indicadores del desarrollo científico	32
3.7 La producción de publicaciones en el mundo	33
3.8 Ciencia en Costa Rica: breve mirada histórica y características	36
3.9 El desarrollo de la ciencia en Costa Rica desde la óptica de la producción de publicaciones indexadas internacionalmente	38
Capítulo 4: El método de la investigación científica	
4.1 Introducción	47
4.2 El origen de una investigación	47
4.3 La selección de una pregunta pertinente	48
4.4 Diseño de la metodología para abordar las preguntas	50
4.5 El desarrollo de la investigación	51
4.6 La construcción de teoría a partir de la información obtenida	53
4.7 La socialización de los resultados	54
Capítulo 5: La elaboración de propuestas de investigación	
5.1 Introducción	55
5.2 Tener la pregunta clara, la que debe ser de relevancia científica	56
5.3 El arte de escribir una propuesta de investigación	59
5.4 Página de información general	63
5.5 El Título	64
5.6 El Resumen	64
5.7 Cuerpo de la propuesta: Introducción	67
5.8 La Hipótesis	70

5.9 Resultados preliminares	72
5.10 Objetivos	74
5.11 Justificación	77
5.12 Estrategia metodológica	78
5.13 Resultados esperados y productos	82
5.14 Posibles problemas y cómo solucionarlos	84
5.15 Facilidades	85
5.16 Descripción del consorcio de investigadores	87
5.17 Condiciones éticas y legales	90
5.18 Cronograma	92
5.19 Solicitud y justificación del presupuesto	93
5.20 Anexos	96
Capítulo 6: La publicación científica	
6.1 La publicación científica y sus diversos tipos	97
6.2 Estructura del artículo científico	100
6.3 Secciones adicionales al cuerpo principal del artículo científico	104
6.4 Redacción científica	106
6.5 Figuras, gráficos, cuadros	108
6.6 El proceso de publicación	119
Capítulo 7: La presentación oral de la investigación	
7.1 Introducción	124
7.2 Presentación oral de la investigación y sus modalidades	125
7.3 Estructuración de una presentación oral de investigación	125
7.4 Consejos adicionales para la presentación	127
7.5 Elaboración y exposición de afiches en congresos.....	130
7.6 Conclusión	132
Capítulo 8: Las disyuntivas para convertirse en científico en un país de bajos ingresos	
8.1 Una década después de las 'diez reglas sencillas'	133
8.2 El inicio del entrenamiento como científico	137
8.3 ¿Qué sigue después del doctorado?	138
8.4 Cómo seleccionar al tutor y al centro de investigación	139
8.5 Las estrategias para obtener una posición laboral	140
8.6 Los problemas de la idiosincrasia criolla	141
8.7 La adaptación al entorno y la evasión de los distractores	143
8.8 La unión hace la fuerza	145
8.9 El tema de investigación	146
8.10 Escribir y comunicar los resultados	147
8.11 La obtención de fondos para la investigación	149
8.12 Es necesario convertirse en experto	150
8.13 La solidaridad y conciencia social	150
Capítulo 9: Aspectos prácticos y consejos para la experimentación	
9.1 La experimentación como actitud	152
9.2 Si un protocolo funciona, no lo cambies; si no funciona, cámbialo	152
9.3 Cada experimento requiere controles adecuados	153
9.4 El diseño del experimento debe conducir a un resultado	

interpretable.....	153
9.5 El orden y registro en la experimentación son esenciales	154
9.6 La objetividad durante la experimentación	154
9.7 Cómo enfrentar las dificultades experimentales	155
9.8 La simplificación de experimentos complejos	155
9.9 El aprovechamiento de la experiencia	155
9.10 Diseña cada experimento como si fuera a convertirse en una figura de un manuscrito	156
9.11 Sea generoso cuando le pidan ayuda	156
9.12 Es más importante ser preciso, que ser prolífico... pero también ayuda ser prolífico	157
9.13 Los experimentos deben estar orientados por hipótesis	157
9.14 Lo que importa en ciencia no es lo que podría ocurrir, sino lo que ocurre	158
9.15 Lea con amplitud temática	158
9.16 Sea honesto con Ud. mismo y con los demás	158
 Capítulo 10: Herramientas bibliométricas y sus usos en la investigación	
10.1 Las revistas científicas: un amplio universo	160
10.2 Orígenes de la bibliometría	160
10.3 Limitaciones del índice o factor de impacto	163
10.4 Cifras de citación	164
10.5 El índice de Hirsch o índice-h y las métricas de autor	166
10.6 Algunos usos de las herramientas bibliométricas	167
10.7 Información científica a nivel global: la 'corriente central' de las ciencias vs. la 'literatura gris'	168
10.8 El movimiento de acceso abierto (<i>open access</i>)	169
10.9 ¿Existen alternativas a los dos modelos de publicación descritos?	174
10.10 La era de las 'métricas' en las publicaciones	175
 Capítulo 11: La relación tutor-estudiante en la dirección de tesis de posgrado	
11.1 Introducción	177
11.2 Importancia del mentor, tutor, director o supervisor de tesis: casi un superhéroe	179
11.3 Responsabilidades y motivaciones del estudiante de posgrado	180
11.4 Habilidades y competencias que deberían desarrollarse en la formación de los estudiantes de posgrado	182
11.5 Estilos de supervisión	183
11.6 Conclusiones	185
 Capítulo 12: Algunas pautas generales para crear un <i>Curriculum Vitae</i> acorde con el contexto social y económico actual	
12.1 Introducción.....	186
12.2 Contexto laboral actual y de la educación superior en Costa Rica	186
12.3 Pautas generales para la realización del <i>Curriculum Vitae</i>	190
 Referencias	 193

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Bruno Lomonte

1.1 Investigación y formación

La investigación científica y tecnológica es una actividad profesional altamente especializada, a nivel internacional, que requiere de una formación y entrenamiento rigurosos, usualmente marcados por un carácter tutorial. Los investigadores de hoy en su mayoría forman parte de grupos especializados, desde pequeños hasta muy numerosos, en donde los más jóvenes se desarrollan de manera más eficiente junto a los más experimentados, en una relación sinérgica. La actividad investigativa exige una formación universitaria de alto nivel, de tal modo que los profesionales que deciden tomar tal camino, amplían su educación básica de grado con la realización de estudios posteriores en programas de maestría y doctorado académico. Además, los entrenamientos post-doctorales son usualmente parte seguida de este proceso formativo, al menos en los países de alto desarrollo científico.

La actividad científica no posee las mismas características en todos los países, ya que - entre otras razones - estos recorren la senda del desarrollo a ritmos diferentes. Así, mientras unos están muy rezagados, otros se cuentan entre los más avanzados, como se discute adelante ([Capítulo 3](#)). Estas desigualdades obligan a abordar los retos de la investigación científica y tecnológica de una manera que requiere ser congruente con las características del entorno propio ([Capítulo 8](#)), pero sin que ello implique apartarse, de ninguna manera, de los principios filosóficos inviolables que rigen a la ciencia y sus métodos ([Capítulo 4](#)).

En las distintas disciplinas biomédicas, al igual que en otros campos del conocimiento, la formación de posgrados académicos posee un fuerte componente de investigación. Usualmente, esta característica distingue a los programas de corte académico de los programas conducentes a una especialización mayormente orientada al ejercicio profesional clásico, cuya prioridad no se centra en la investigación. Es por esto que los estudiantes de un programa de posgrado con orientación académica necesitan - además de adquirir una sólida base de conocimientos en su área de estudio - prepararse para llevar a cabo un proyecto de investigación original que culmine con la elaboración de una Tesis. Este importante ejercicio formativo representa una prueba de

la adquisición de destrezas que confieren al estudiante la capacidad para desarrollarse como un investigador independiente en el futuro.

Usualmente, las bases teóricas se adquieren a través de un programa de cursos formales de diversos tipos, a menudo complementados con otras actividades guiadas como seminarios, ciclos de conferencias, lecturas dirigidas, o discusiones grupales de artículos científicos (*journal clubs*), entre otras. Por otra parte, y generalmente en forma paralela, los estudiantes graduados se forman en el aspecto investigativo a través de la elaboración de un proyecto de tesis, su presentación oral ante un comité, seguida de su ejecución, y finalmente la elaboración del documento de tesis y su defensa - oral y pública - ante un tribunal experto que juzgará sobre su idoneidad y calidad.

A diferencia de la etapa de formación a través de cursos, la etapa centrada en la investigación se caracteriza por su naturaleza tutorial. Esto es, uno o más investigadores con experiencia, orientarán el trabajo del estudiante, guiándole a través de las distintas fases mencionadas. La investigación permite a los estudiantes aplicar los principios fundamentales del Método Científico ([Capítulo 4](#)) a su propia pregunta e hipótesis, para obtener respuestas y generar así conocimiento original sobre un determinado objeto de estudio. Durante este proceso, los estudiantes necesitan sostener una relación estrecha con sus orientadores (tutores, asesores), un aspecto de vital importancia ([Capítulo 11](#)). La preparación y presentación de una propuesta de investigación o anteproyecto de tesis ([Capítulo 5](#)), así como la escritura de la tesis misma, y de uno o más manuscritos que se deriven de ella para fines de publicación ([Capítulo 6](#)), son otras de las destrezas y habilidades más relevantes que deben adquirirse durante el proceso investigativo, además de la experimentación propiamente ([Capítulo 9](#)), y la capacidad de expresión oral para la presentación de las investigaciones en eventos científicos, en sus distintas modalidades ([Capítulo 7](#)).

Los diversos temas arriba mencionados se presentan y discuten en el presente texto, elaborado con un estilo simple y en ocasiones hasta coloquial, y ciertamente marcado por las experiencias de sus autores a lo largo de sus recorridos por los caminos de la investigación y la vida académica. Utilizando un formato electrónico con la finalidad de facilitar un acceso libre (en contraposición con la formalidad y las restricciones de un texto impreso), se han aprovechado algunos recursos digitales disponibles en la *web* para complementar e ilustrar ciertos conceptos (a veces incluso con alguna dosis de humor). Esta obra intenta ser de utilidad a los estudiantes del curso 'Métodos de Investigación' (SP-5314) que ofrece el Programa de Posgrado en Microbiología, Inmunología, Parasitología y Análisis Clínicos de la Universidad de Costa Rica, así como a estudiantes de posgrado de programas afines, tanto en Costa Rica como en otros países de habla Hispana.

Capítulo 2

El surgimiento de la ciencia moderna

José María Gutiérrez

2.1 El conocimiento de la realidad en la historia de la humanidad

El interés por conocer la realidad circundante y el estudio sistemático de la misma surgieron muy temprano en la historia de nuestra especie. Ello permitió el control de diversos procesos naturales y el desarrollo de innovaciones técnicas asociadas a procesos culturales contextualizados a las circunstancias biogeográficas y sociales de los grupos humanos. El sedentarismo y el desarrollo de la agricultura dieron lugar al desarrollo de asentamientos humanos de complejidad creciente, de los cuales, eventualmente, aparecieron las primeras civilizaciones urbanas hace unos 6000 años en Mesopotamia, una región que forma parte de lo que hoy se conoce como el Medio Oriente.

El control del agua mediante intervenciones técnicas complejas, en lo que se ha denominado las 'civilizaciones hidráulicas' dio lugar a una intensificación de la agricultura y al incremento demográfico en los centros de población. Esto ocurrió en contextos diferentes y en regiones tan variadas como Mesopotamia, Egipto, las llanuras del norte de lo que es hoy China, el valle del río Indo (actualmente partes de Pakistán, Afganistán y la India) y el continente americano, principalmente en Mesoamérica y en las regiones andinas. En dichas civilizaciones, y en muchos otros grupos humanos, se desarrollaron formas complejas de estudio de la realidad y de apropiación de dicho conocimiento para la transformación de la naturaleza. Durante el denominado período helénico, en la Grecia antigua (aproximadamente del año 600 al año 300 antes de la era cristiana), y en un contexto político caracterizado por ciudades-estado que no estaban organizadas alrededor de un poder central, se desarrolló con vigor la 'filosofía natural', es decir, un fuerte movimiento de especulación teórica sobre la realidad, la cual incidió en eventos posteriores.

La comprensión de la realidad tuvo desarrollos significativos en las civilizaciones china, islámica, africanas, del subcontinente indio y americanas (Fig.2.1), cada una con características propias y con un fuerte impacto en las aplicaciones de dicho conocimiento en esos conglomerados humanos. Paralelamente, muchos otros grupos humanos diversos a lo largo del planeta han desarrollado también un conocimiento detallado de su realidad circundante y lo han aplicado en su quehacer cotidiano. En suma, se ha creado un cúmulo de saberes diversos. Desde muy temprano en la historia

de la humanidad, muchos de estos grupos y culturas tuvieron interacciones recíprocas de diverso tipo, en un complejo sistema de vasos comunicantes.



Figura 2.1: Diversas civilizaciones efectuaron detalladas observaciones astronómicas como parte del estudio de fenómenos naturales. Esta figura muestra el observatorio maya de Chichen-Itzá. Imagen: T. Christensen, licencia CC BY-NC 2.0 (*Creative Commons*).

2.2 La 'revolución científica' y el surgimiento de la 'ciencia moderna'

Una ruptura importante en la forma como los seres humanos estudian la realidad ocurrió en Europa en los siglos XVI y XVII, en lo que se ha conocido como la 'revolución científica', que marca el origen de la ciencia moderna, también llamada 'nueva ciencia'. Se trata de un proceso harto complejo en cuya gestación intervinieron una gran cantidad de factores extrínsecos e intrínsecos a la ciencia. La publicación de algunos textos fundamentales permite ilustrar los procesos de ruptura que marcaron este fenómeno. En 1543 se publicaron dos libros icónicos en ramas muy diferentes de la ciencia, la anatomía y la astronomía. Andreas Vesalius (1514-1564), un médico de la Universidad de Padua, en lo que es hoy Italia, publicó un tratado de anatomía denominado *De Humanis Corporis Fabrica* (Sobre la Fábrica del Cuerpo Humano; Fig.2.2). Esta obra tuvo el mérito metodológico de que centró el estudio de la anatomía en la observación minuciosa directa de cuerpos humanos, principalmente de cadáveres. El texto de Vesalius superó los saberes anatómicos clásicos de Galeno y mostró que el conocimiento de la realidad debe centrarse más en la observación meticulosa que en la adopción acrítica del conocimiento previo, en este caso de los textos clásicos.



Figura 2.2: Una lámina y texto del famoso libro de Andreas Vesalius titulado *De Humanis Corporis Fabrica*. Imagen: Jan Steven van Calcar, licencia CC BY-NC-SA 4.0 (*Creative Commons*).

El mismo año de 1543 también se publicó la obra del estudioso polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) titulada *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre las Revoluciones de las Órbitas Celestes; Fig.2.3). En dicha obra se presentó la cosmología heliocéntrica, que coloca al sol como centro del sistema solar alrededor del cual giran en sus órbitas los planetas. Este concepto revolucionó el conocimiento del universo y desbancó las cosmovisiones geocéntricas que dominaban en el escenario intelectual desde Aristóteles y Ptolomeo.

Otra personalidad decisiva en los orígenes de la ciencia moderna fue Galileo Galilei (1564-1642), quien realizó importantes aportes a la Astronomía y a la Mecánica de los cuerpos en movimiento, incorporando las matemáticas en el estudio de estos fenómenos. En su famoso texto de 1632, titulado *Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi del Mondo* (Diálogo sobre los dos Principales Sistemas del Mundo; Fig.2.3), Galileo enfrenta las cosmovisiones ptolemeica y copernicana, posicionándose claramente a favor de la segunda, lo cual le valió la persecución del Vaticano y la Inquisición en un famoso juicio que lo llevó al arresto domiciliario por el resto de su vida.



Figura 2.3: Izquierda: Portada del libro de Galileo Galilei titulado *Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi del Mondo*, en el cual confrontó las cosmovisiones ptolomeica y copernicana. Imagen: Rijksmuseum, licencia CCO 1.0 (*Creative Commons*). Derecha: Portada del libro de Nicolás Copérnico titulado *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, en el cual planteó su cosmovisión heliocéntrica. Imagen: Wikimedia, licencia CC BY-SA 4.0 (*Creative Commons*).

Es interesante rescatar la coincidencia de que Vesalius, Copernico y Galileo, en diferentes momentos de su trayectoria académica, pasaron por la Universidad de Padua, un centro de conocimiento caracterizado por un ambiente de tolerancia y promoción de la búsqueda de saberes de manera relativamente autónoma del control eclesiástico del papado.

Continuando con las coincidencias, el mismo año en que murió Galileo (1642) nació Isaac Newton (1642-1727), cuya obra representa un punto de consolidación de esa nueva forma de estudiar y conocer la realidad que surgió con la revolución científica, especialmente a raíz de su obra *Principia Mathematica Philosophia Naturalis* (Principios Matemáticos de la Filosofía Natural; Fig.2.4), en la que plantea la hipótesis de la gravitación universal y las leyes del movimiento, y profundiza la tendencia de presentar las hipótesis utilizando las matemáticas, en este caso el cálculo infinitesimal, desarrollado simultáneamente por el mismo Newton y por Gottfried Wilhelm Leibniz.

2.3 ¿Cuáles son las principales características de esa forma de estudiar la realidad denominada 'ciencia moderna'?

Esta forma innovadora de estudiar la naturaleza, asociada con la 'revolución científica' y conocida como 'ciencia moderna' o 'nueva ciencia', fue un proceso cultural histórico sinuoso, influido por múltiples factores, que se desarrolló de manera compleja

a lo largo de varios siglos. En lo fundamental, esta ‘nueva ciencia’ se caracteriza por los siguientes aspectos:

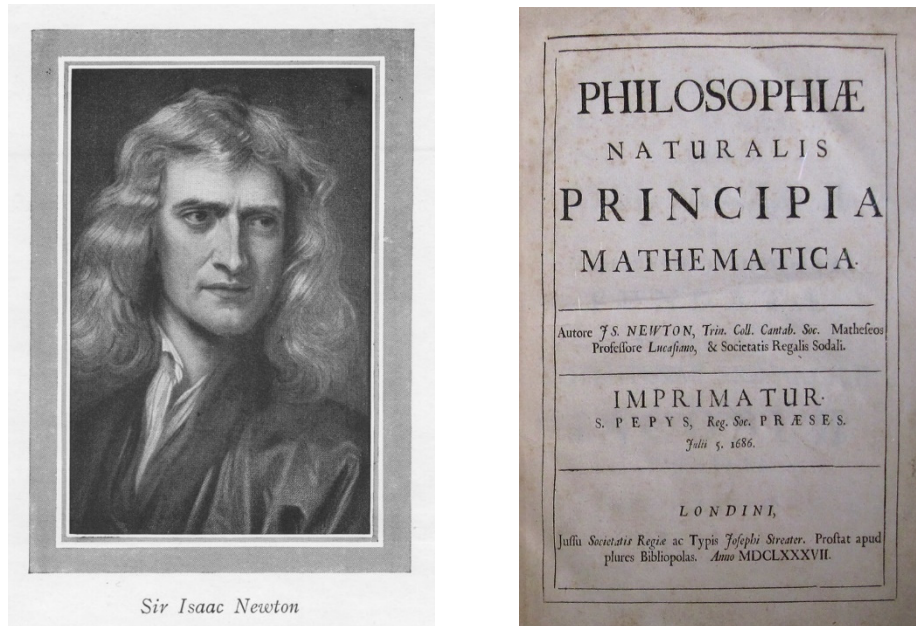


Figura 2.4: La obra de Issac Newton titulada *Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis* marcó un punto de consolidación de la revolución científica y de la nueva forma de estudiar la realidad mediante la elaboración de hipótesis utilizando herramientas matemáticas. Imágenes: izquierda, Paukrus, licencia CC BY-SA 2.0 (*Creative Commons*); derecha: Rhubarble, licencia CC BY-NL 2.0 (*Creative Commons*)

- (a) *Valoración de la observación y de la experimentación planificada:* El conocimiento de la realidad se centra en procesos de observación y experimentación meticulosos, los cuales permiten conocer las características de los fenómenos que se estudian. Más que basarse en la sabiduría de los textos clásicos, lo que era característico del saber escolástico en las universidades medievales, el estudio de los fenómenos se centra en su observación, y también en la elaboración de experimentos que permitan estudiarlos variando las circunstancias que los condicionan. Dicha corriente cultural se acompañó, por lo tanto, del diseño y difusión de novedosos instrumentos para observar, medir y experimentar.
- (b) *Elaboración de hipótesis generales, sujetas a verificación:* Quizá la marca más importante de la ‘nueva ciencia’ lo constituya el ejercicio de elaboración de hipótesis generales sobre los fenómenos naturales, las cuales frecuentemente se expresan en lenguaje matemático. Este método hipotético-deductivo permite efectuar predicciones sobre la naturaleza, que deben ser luego sometidas al escrutinio de la observación o la experimentación planificada, para juzgar su validez. Por tanto, lo que caracteriza a las hipótesis científicas es su carácter de ser verificables o, como lo planteó el filósofo Karl Popper, ‘falsables’. Solamente las hipótesis que puedan ser falsables constituyen hipótesis científicas.

- (c) *La cosmovisión mecánica*: La ‘nueva ciencia’ introdujo una visión mecanicista del mundo, en la cual los fenómenos pueden ser estudiados como si se tratara de una máquina cuyo funcionamiento es susceptible de ser estudiado y conocido mediante relaciones de causalidad.
- (d) *El desarrollo del conocimiento es más un ejercicio de investigación y búsqueda que un cuerpo de conocimientos*: En contraste con la forma como se estudiaban las disciplinas en el contexto escolástico, en el cual los textos clásicos de la antigüedad, por ejemplo los textos de Aristóteles, Ptolomeo o Galeno, constituían la fuente del conocimiento, la ‘nueva ciencia’ privilegia más bien la búsqueda del nuevo conocimiento mediante la observación y experimentación planificadas y la elaboración de hipótesis falsables. En este nuevo entorno la capacidad para generar nuevo conocimiento es más valorada que la erudición pasiva.



Figura 2.5: Izquierda: Portada del primer volumen de la revista *Philosophical Transactions*. La publicación de los resultados de investigaciones científicas en revistas especializadas, o *journals*, es una de las características de la ‘nueva ciencia’ surgida al calor de la revolución científica. Derecha: un número moderno de la misma revista, 345 años después. Imagen: St. Andrews School of History-WordPress.com

- (e) *La ciencia como fenómeno de carácter colectivo y compartido*: Conforme se fue consolidando esta nueva forma de estudiar la realidad, se hizo evidente que la misma debía socializarse en los colectivos de personas que realizaban investigación. Los intercambios entre colegas, mediante los cuales se compartían los diseños de

experimentos y las observaciones de los fenómenos, se convirtió en una dinámica propia de la actividad científica. Aparecieron así las sociedades científicas en diversos países, siendo una de las más antiguas la *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*, de Inglaterra. Además, la comunicación entre personas interesadas en el estudio de la realidad natural mediante esta 'nueva ciencia' se fortaleció con la aparición de órganos impresos de comunicación científica, los denominados *journals*. Una de las primeras revistas científicas fue la *Philosophical Transactions of the Royal Society*, cuyo primer número se publicó en 1665 (Fig.2.5).

2.4 Las raíces complejas y multifactoriales de la revolución científica

Las raíces de ese fenómeno tan particular denominado 'revolución científica', que ocurrió en Europa en los siglos XVI y XVII, son diversas y complejas y tocan aspectos que tienen que ver tanto con el desarrollo del conocimiento mismo, como con una amplia gama de factores extrínsecos a la ciencia, de carácter económico, cultural, político y técnico. Este tipo de análisis combina lo que en la historia de la ciencia se conoce como enfoques 'internalistas' y 'externalistas'. Los primeros analizan la historia de la ciencia como el desarrollo histórico de las ideas y de los conceptos y teorías en las disciplinas científicas, es decir, centra su enfoque en la dinámica interna de la ciencia. Por el contrario, los enfoques 'externalistas' se enfocan en los factores externos a la práctica científica que determinan el devenir del conocimiento, incluyendo elementos políticos, económicos, sociales, culturales y de otra índole. A continuación se discuten algunos de estos elementos causales, empleando una combinación de perspectivas internalistas y externalistas, las cuales permiten una aproximación a la enorme complejidad de estos procesos que culminaron con el surgimiento de la 'nueva ciencia'.

- (a) *Los cambios productivos y demográficos en Europa en el medioevo tardío*: A fines del primer milenio Europa era un continente con una baja densidad demográfica, especialmente si se le compara con los centros urbanos que existían en China, India, la civilización islámica y América. A manera de ejemplo, se estima que, para el año 1000, Roma y París tenían poblaciones de 35.000 y 20.000 personas, respectivamente. En contraste, Kaifeng en China contaba con 400.000 habitantes y Bagdad tenía cerca de un millón. El entorno económico y demográfico europeo sufrió una transformación radical centrada en algunas innovaciones técnicas y en procesos de carácter político. Entre las primeras destacan: (i) el arado pesado, que permitió cultivar tierras duras húmedas e incrementar significativamente la producción agrícola; (ii) la incorporación generalizada del caballo como animal de tiro; (iii) el paso de sistema de rotación en el uso del campo de cultivo de dos campos a tres campos. Al mismo tiempo, y aprovechando las características hidrográficas de las tierras europeas, se desarrolló el molino de agua como fuente de energía. Estas innovaciones permitieron un importante crecimiento demográfico que se reflejó en un crecimiento de los centros urbanos y en la creciente complejidad social, económica, cultural y política de los mismos. También aparecieron innovaciones asociadas con tecnología militar, incluyendo, entre otros, el uso de la pólvora y los estribos en la caballería, así como el desarrollo de navíos que permitieron la

exploración marítima, todo lo cual tendría implicaciones en procesos posteriores de expansión colonial.

- (b) *El desarrollo de las universidades*: Las universidades constituyeron una innovación cultural de gran impacto en las urbes europeas, a partir del siglo XI. La primera universidad europea fue la de Bologna (Fig.2.6), creada en el año 1088 como una comunidad de estudiantes y profesores con el propósito de formar a los clérigos, médicos, abogados y administradores que la creciente complejidad urbana requería. Otras universidades surgieron luego en distintos lugares de Europa y, aunque su estructura y organización variaba, mantenían objetivos similares. Junto con las carreras 'profesionales' de Teología, Derecho y Medicina, las universidades medievales también desarrollaron facultades de Artes Liberales, a las que acudían estudiantes en sus primeros años de estudio. Uno de los componentes del *curriculum* de estas facultades era el denominado *quadrivium*, que incluía las disciplinas de Aritmética, Geometría, Astronomía y Música. En ese contexto se cultivó el estudio de la Filosofía Natural, es decir, la observación y especulación sobre los fenómenos naturales. Siendo instituciones con una relativa autonomía del poder político y, en algunos casos, del eclesiástico, las universidades se convirtieron en centros de cultivo del pensamiento y de especulación teórica sobre fenómenos naturales. Si bien es claro que dicho ejercicio académico se desarrollaba en un entorno de carácter escolástico, lo cierto es que posibilitó el cultivo de la especulación sobre la naturaleza. No se trataba, por supuesto, de instituciones de investigación como tales, pero su dinámica permitió el desarrollo de la Filosofía Natural.



Figura 2.6: Logo e imagen de una biblioteca de la primera universidad europea, la Universidad de Bologna. El surgimiento de las universidades europeas tuvo un efecto importante en los procesos que llevaron a la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Imagen logo: Wikipedia. Imagen biblioteca: grits2go, licencia CC BY 2.0 (*Creative Commons*).

(c) *La magia y la astrología*: Estas actividades florecieron en Europa en los siglos XV y XVI. Constituyen una forma de aproximarse al conocimiento de la realidad natural y, en ese momento, no eran consideradas prácticas sobrenaturales ni irracionales. Al contrario de la ciencia moderna, la magia pretendía conocer la realidad a partir de cualidades sensibles de los cuerpos, mediante procesos y leyes que rigen más bien la vida psíquica. Es claro que existía una clara discrepancia entre el método de la magia y el que luego adoptaría la praxis de la ‘nueva ciencia’. Sin embargo, también es cierto que la primera tenía una actitud empirista ante la naturaleza, que promovía la búsqueda de evidencia empírica sobre diversos fenómenos naturales, lo cual era una aproximación a lo que luego sería la dinámica de la ciencia. La magia, al igual que luego la ciencia, pretendía comprender el mundo físico y, con base en dicha comprensión, procuraba darle al ser humano herramientas para transformarlo. Es interesante que algunos de los primeros practicantes de la ‘nueva ciencia’ fueron también seguidores de la astrología, entre ellos Newton.



Figura 2.7: Izquierda: Traducción al árabe del texto *De Materia Medica*. Derecha: traducción de textos sobre Geometría y Matemáticas. Las traducciones al árabe, y luego al latín, de los textos clásicos griegos tuvieron un amplio impacto en Europa. La civilización islámica jugó un papel fundamental en dicha recuperación y contribuyó además a acrecentar este legado con los aportes de sus propios intelectuales. Imágenes: Wikiwand y Wikipedia.

(d) *La recuperación del legado greco-latino y el influjo de otras civilizaciones, especialmente la islámica*: Uno de los principales hitos que ocurrieron en el medioevo tardío en Europa fue el re-descubrimiento del legado clásico greco-latino, lo cual fue posible sobre todo gracias a un proceso masivo de recuperación y traducción por parte de la civilización islámica durante su proceso de expansión y consolidación (Fig.2.7). En un complejo entramado de relaciones culturales y de procesos de traducción, los textos de Aristóteles, Hipócrates, Ptolomeo, Galeno y otros estudiosos de la antigüedad fueron traducidos primero al árabe y luego al latín, llegando al mundo europeo a través sobretodo de los centros intelectuales de Al-Andalus, lo que

es hoy España. Este rico legado antiguo se combinó con las elaboraciones e interpretaciones que los intelectuales árabes hicieron de los autores clásicos, contribuyendo aún más a la riqueza de estos materiales. La llegada de estas fuentes de conocimiento dinamizó de manera impactante el mundo intelectual europeo, incluyendo las universidades. En dicha asimilación del legado greco-latino e islámico, se efectuaron síntesis originales entre estos saberes y el pensamiento cristiano predominante, gracias al aporte de personalidades como Tomás de Aquino y otros. El resultado fue un florecimiento del entorno cultural el cual estuvo marcado, entre otros fenómenos, por un creciente interés por la exploración del mundo natural. Se dieron entonces importantes desarrollos teóricos especulativos sobre una gran variedad de fenómenos y surgieron importantes pensadores en los centros académicos europeos. Esta profunda transformación tuvo una incidencia notoria en los procesos que siguieron y que dieron lugar al surgimiento de la ciencia moderna. También se debe rescatar la impronta de los vasos comunicantes culturales con la civilización china, los cuales, si bien no tuvieron la intensidad del legado greco-latino e islámico, sí incidieron en importantes desarrollos de filosofía natural y técnicos en Europa.

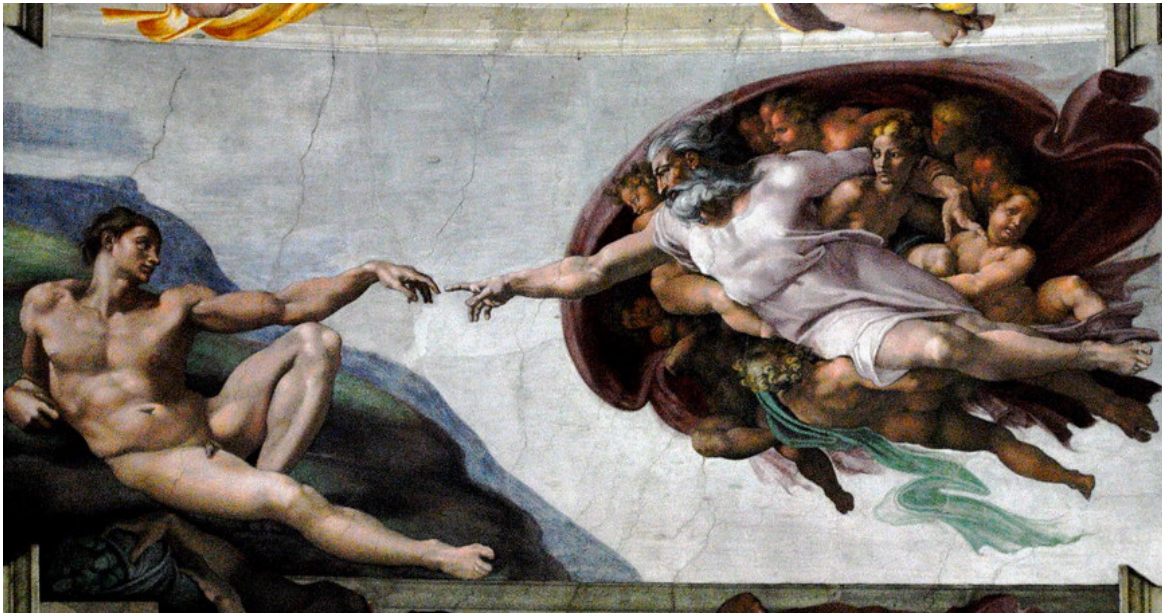


Figura 2.8: Pintura *La creación de Adán*, de Michelangelo Buonarroti. Esta obra es parte del proceso de transformación cultural conocido como Renacimiento, el cual tuvo un fuerte impacto en la forma como se concebía el puesto del ser humano en la naturaleza. Este nuevo humanismo tuvo una influencia decisiva en el surgimiento de la 'nueva ciencia'. Imagen: Kevingessner, licencia CC BY 2.0 (*Creative Commons*).

- (e) *El Renacimiento*: Se conoce como Renacimiento a un fenómeno cultural, fundamentalmente artístico, de gran magnitud e impacto que se desarrolló en Europa, inicialmente en las ciudades-estado de lo que es hoy Italia, en los siglos XIV y XV, expandiéndose luego por el continente (Fig.2.8). Fue un proceso fundamentalmente urbano en el que las universidades no tuvieron un papel protagónico. El Renacimiento se caracterizó por el secularismo, el realismo y el individualismo. Con el Renacimiento surgió un nuevo humanismo, en el sentido de plantearse la grandeza del ser humano y la actividad creadora que este desempeña en el mundo. El arte renacentista rescató la realidad natural, tal como ocurre, por ejemplo, con el conocimiento anatómico preciso como base para muchas de las obras que se crearon. Se observa en este aspecto una conexión evidente entre los desarrollos artísticos y el interés por el conocimiento de la naturaleza. El Renacimiento ocurrió inicialmente en ciudades-estado caracterizadas por un ambiente de mayor tolerancia hacia la exploración del mundo y de la expresión artística, cualidades que alimentan la libre búsqueda del conocimiento sobre la naturaleza.
- (f) *La expansión colonial europea*: Innovaciones técnicas de carácter militar se desarrollaron en Europa, incluyendo técnicas metalúrgicas y el desarrollo de armas de fuego, conjuntamente con el diseño de navíos para el control marítimo. Estos elementos, aparejados a procesos políticos y disputas entre los diferentes reinos del continente, así como a necesidades de acumulación de riqueza y capital de las potencia emergentes, dieron pie a los procesos de exploración y colonización de vastos territorios de ultramar, inicialmente por Portugal y España y posteriormente por Francia, Holanda e Inglaterra, abriéndose así el primer proceso de globalización en gran escala y de control imperial de otras civilizaciones y culturas. Aunque este fue un fenómeno de corte predominantemente político y económico, el mismo influyó en el entorno cultural europeo del que luego surgiría la ciencia moderna. El conocimiento de 'nuevos' mundos para los europeos mostró una realidad riquísima, totalmente desconocida para el saber clásico. Era necesario, pues, desarrollar nuevo conocimiento sobre estos territorios, lo que estimuló el desarrollo de ramas como la Cartografía, así como la sistematización, mediante expediciones, del conocimiento de las riquezas físicas y biológicas presentes en dichas tierras.
- (g) *La reforma protestante*: El 31 de octubre de 1517, el monje Martín Lutero clavó sus famosas 95 tesis en la puerta de una iglesia en Wittenberg, Alemania, dando origen a la reforma protestante (Fig.2.9). Esto puso en marcha un complejo proceso religioso con amplias implicaciones políticas, económicas y culturales en toda Europa. Estos eventos surgieron en un contexto de grandes contradicciones y disputas entre diversas posiciones teológicas y generaron un cisma sin precedentes en el cristianismo. Siendo un fenómeno sobretodo de carácter religioso, tuvo no obstante un impacto importante en el origen de la ciencia moderna. Al promover una purificación del cristianismo y una vuelta al mensaje cristiano original, la reforma protestante buscó dicho mensaje en dos fuentes principales: el libro de Dios, o sea la Biblia, y el libro de la naturaleza. En otras palabras, el mensaje de Dios se podía y debía escrutar estudiando el mundo natural, algo que era reforzado por diversos textos del Antiguo Testamento. Esta apertura al estudio de la naturaleza como una

forma de acercarse a Dios contrastaba con las políticas represivas de la iglesia católica, claramente reflejadas en el juicio y condena a Galileo. Se ha discutido que fue precisamente en las naciones en las que se afincó la reforma protestante donde se desarrolló con más fuerza la 'nueva ciencia'. Estos son fenómenos de mucha complejidad, dado que la reforma protestante tuvo también un vínculo estrecho con el naciente capitalismo, como lo mostró el sociólogo Max Weber en su obra clásica *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*. Ocurrió entonces una triple trenza entre la reforma protestante, el surgimiento del capitalismo y la aparición de la 'nueva ciencia', lo que muestra la interdependencia de estos tres procesos concomitantes en el desarrollo de Europa.



Figura 2.9: La Reforma Protestante, liderada por Martin Lutero, generó un cisma en Europa en los ámbitos religioso, político, económico y cultural. Este fenómeno tuvo importantes efectos en el desarrollo de la 'nueva ciencia'. Imagen: Saikko, licencia CC BY-SA 3.0 (*Creative Commons*).

- (h) *La emergencia del mercantilismo:* A partir del siglo XV, en Europa, ocurrieron cambios cualitativos en la estructura económica, con la transición paulatina del modo de producción feudal al capitalista. Este proceso se asoció con la aparición del mercantilismo, alrededor de nuevos sectores dinámicos que se agrupaban en los gremios y se establecieron vínculos comerciales dentro de Europa y hacia el Oriente. Como parte de este proceso surgieron los bancos y la actividad financiera y se inició un incipiente desarrollo manufacturero. Todo esto ocurrió simultáneamente con el Renacimiento y otros procesos concomitantes, y marcó el inicio de la modernidad, caracterizada por nuevas concepciones del rol del ser humano y su potencial de comprensión y transformación de la naturaleza. También estos procesos se vieron influidos, y a la vez condicionaron, la expansión y dominación europea de otros continentes. La actividad manufacturera representó un acercamiento entre el trabajo

manual y el intelectual, lo cual tuvo obvias implicaciones para una actividad que, como la ‘nueva ciencia’, centra mucho de su desarrollo en la observación y la experimentación planificada. El desarrollo de la banca, por otro lado, estuvo asociado con innovaciones en el estudio de las Matemáticas. Ocurrió pues una compleja imbricación entre el desarrollo de la nueva ciencia, el mercantilismo, el protestantismo y la expansión colonial.



Figura 2.10: La imprenta de tipos móviles, desarrollada por Johannes Gutenberg a mediados del siglo XV, jugó un papel clave en la difusión de textos y, por ende, en la consolidación de la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Imagen izquierda: Zigazou76, licencia CC BY 2.0 (*Creative Commons*). Imagen derecha: Zigazou76 CCBY 2-0 (*Creative Commons*).

- (i) *La imprenta:* En China se había desarrollado ya la innovación conocida como imprenta de tipos móviles. En Europa, el desarrollo de la imprenta de tipos móviles ocurrió a mediados del siglo XV, y esta invención se atribuye a Johannes Gutenberg (Fig.2.10). Hasta entonces la reproducción de los textos se efectuaba por amanuenses, a un ritmo lento y con alcances limitados. Esta tecnología revolucionaria permitió un crecimiento exponencial en la edición de textos diversos, lo que facilitó el acceso directo a la palabra escrita. Las consecuencias de este cambio tecnológico fueron vastísimas en muchos ámbitos de la vida. Se considera que la reforma protestante no hubiese tenido el impacto que tuvo sin la facilidad de imprimir miles de ejemplares de la Biblia, traducida a varias lenguas y difundida masivamente. En el plano más general del conocimiento de la naturaleza, la imprenta posibilitó la publicación y difusión de gran cantidad de obras de Filosofía Natural. Siendo la ‘nueva ciencia’ una actividad intrínsecamente comunicativa y social, el contar con esta herramienta de difusión del conocimiento fue un elemento clave en la consolidación de la revolución científica.

2.5 A manera de conclusión

La revolución científica de los siglos XVI y XVII fue un fenómeno de gran complejidad, en cuyo origen intervinieron procesos de muy diversa índole. Algunos de ellos tuvieron que ver con el mismo desarrollo del conocimiento de la naturaleza, ya fuese el generado en las comunidades europeas o bien el adquirido de los saberes de otras civilizaciones, los cuales llegaron a Europa por diversas vías. En la gestación de esta nueva ciencia* jugó por tanto un papel central el influjo directo e indirecto de culturas que precedieron este hecho excepcional que llamamos la 'revolución científica'. Se sumaron además diversos factores económicos, políticos, religiosos y sociales, los cuales interactuaron de maneras variadas para provocar una profunda transformación en la forma de conocer la realidad. La Fig.2.11 resume este escenario multifactorial en el que ocurrió la revolución científica. El impacto que esta forma de estudiar la realidad ha tenido en los últimos siglos ha sido enorme en muchos ámbitos del quehacer humano.



Figura 2.11: Resumen de los diversos factores que incidieron, de manera compleja e interactiva, en el surgimiento de la 'nueva ciencia' mediante la revolución científica de los siglos XVI y XVII. En el círculo interno amarillo se incluyen factores directamente asociados con el estudio de la naturaleza, junto con la tecnología de la imprenta que permitió la amplia difusión de textos. Externamente a este círculo se muestran factores de carácter más bien político, económico, militar, religioso y cultural general, los cuales incidieron directa e indirectamente en este proceso.

* Sobre el origen de la ciencia moderna, se recomiendan las siguientes referencias: Crombie (1974); Grant (1996); MacClellan y Dorn (1999); Needham (1972); Shapin (1996); Turner (1995); y Villoro (2010).

Capítulo 3

Ciencia en el mundo, ciencia en Costa Rica

Bruno Lomonte

3.1 Introducción

Como se describió en el [Capítulo 2](#), la combinación de una serie de factores culturales, sociales, y económicos llevó a que la Europa del siglo XVII se convirtiera finalmente en el principal crisol para el surgimiento de la ciencia moderna. Desde entonces, las ciencias naturales, en sus distintas especialidades, han tenido un desarrollo impresionante y de consecuencias profundas para la vida humana. Con la generación de cambios revolucionarios en lapsos de tiempo cada vez más cortos, las ciencias y sus aplicaciones han transformado radicalmente aspectos básicos de muy diversa índole, concernientes no solo a nuestra especie, sino también a todo el contexto global, tanto en lo natural como en lo social.

La importancia del conocimiento científico, como lo simboliza la célebre frase atribuída al filósofo inglés Francis Bacon (1561-1626), "*scientia potentia est*" (el conocimiento es poder), ha sido ampliamente reconocida en las sociedades actuales. Sin embargo, tal reconocimiento no se refleja de manera homogénea cuando se analiza el fomento a la actividad investigativa en ciencia y tecnología, y el grado de desarrollo de esta actividad, en distintas latitudes.

3.2 Ciencia y riqueza: desbalance mundial

En forma prácticamente paralela a la consabida inequidad de la riqueza entre las naciones, en términos de su producto interno bruto (PIB) e ingreso per cápita, las inversiones en investigación científica y tecnológica también evidencian la existencia de una profunda y preocupante brecha. Los datos recopilados por UNESCO retrataron la situación mundial del desbalance en investigación al finalizar el siglo XX ([Fig.3.1](#)). Tres cuartas partes de la población mundial se ubica en países de bajos ingresos ('en desarrollo'), pero genera menos del 40% del PIB mundial, y en conjunto se estima que aporta solamente un 16% de la inversión global en investigación y desarrollo (I+D). El restante 84% de esta inversión proviene de los países de altos ingresos ('desarrollados'), que albergan apenas la cuarta parte de la población mundial. Las estimaciones sobre cifras de investigadores en los dos grupos de naciones son igualmente reveladoras con respecto a las diferencias existentes en la actividad científica global ([Fig.3.1](#)).

La evidente asociación entre un alto gasto (GERD: *gross expenditure in research and development*) en actividades de I+D y la generación de un alto PIB, trae a la memoria la frase *scientia potentia est*. Sin embargo, esta correlación podría ser interpretada de maneras diametralmente opuestas: en un extremo, argumentando que 'hacer ciencia' es lo que conduce a los países a generar riqueza, y en el otro, que la generación de riqueza - independientemente de la actividad investigativa - es lo que posibilita que los países puedan 'hacer ciencia'. Estas dos posiciones antagónicas podrían llevarnos a un dilema estéril, de tipo 'qué fue primero, el huevo o la gallina', mientras las evidencias indican que en realidad la investigación científica (básica) y tecnológica (aplicada) se interrelacionan estrechamente con la industria y la consecuente generación de riqueza y bienestar (bienes y servicios) a modo de un ciclo dinámico, en los países de mayor desarrollo (Fig.3.2).

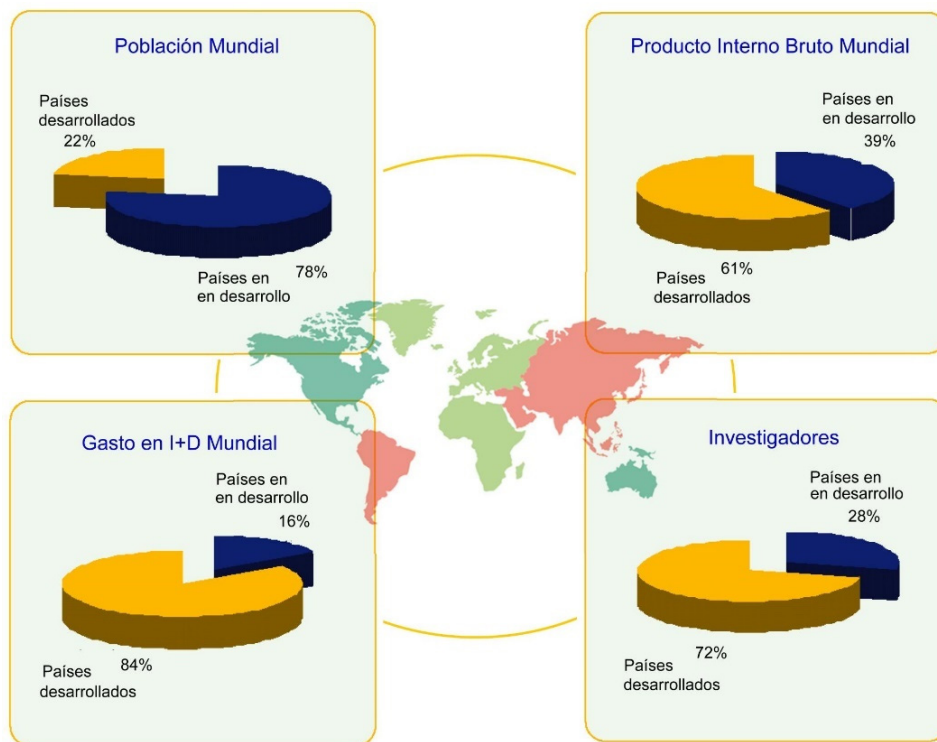


Figura 3.1: Inequidad global de la investigación científica y tecnológica en países desarrollados y en vías de desarrollo. I+D: investigación y desarrollo. Adaptado de datos de la UNESCO para el año 1999.

3.3 El ciclo ciencia-tecnología-industria

Bajo esta perspectiva, la generación de conocimientos fundamentales que provee la investigación científica (aquí empleada como sinónimo de ciencia 'básica') alimenta a

la investigación tecnológica, la cual tiene como objeto la aplicación de dichos conocimientos (ciencia 'aplicada') de modo tangible. Esta, a su vez, impulsa la actividad industrial, que produce bienes y servicios que finalmente derivan en beneficios económicos y/o sociales. El ciclo se retroalimenta a través de la re-inversión de recursos en apoyo a la ciencia básica o fundamental y, en su conjunto, la dinámica de estas interrelaciones potencia de modo sostenible el crecimiento socioeconómico (Fig.3.2). Lo anterior describe en términos muy generales la forma en que fluyen las tres actividades, aunque ello no significa que no ocurran también diferentes relaciones recíprocas, por ejemplo cuando una tecnología lleva a un avance científico básico, u otras.

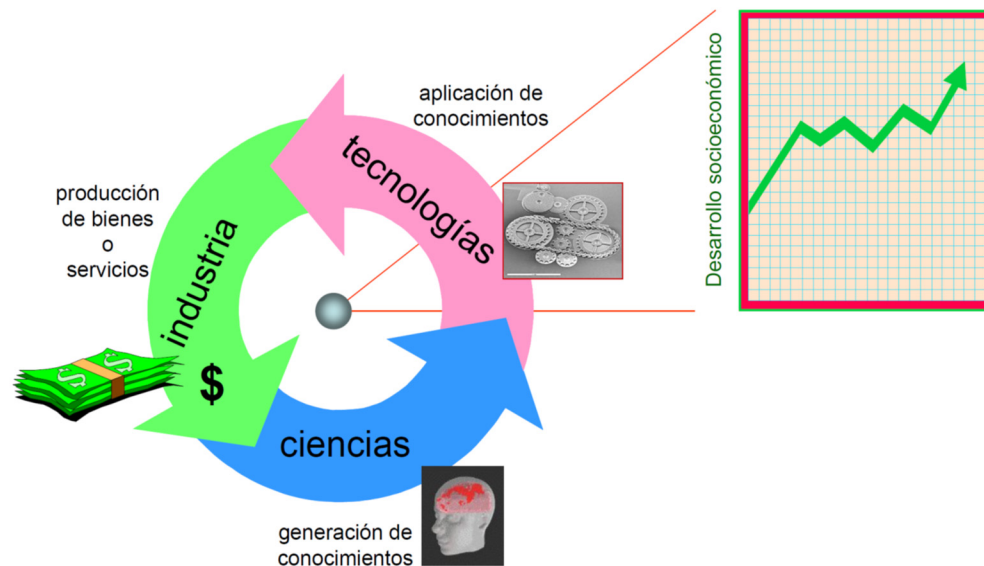


Figura 3.2: La interrelación 'ciencia-tecnología-industria' y su incidencia positiva sobre el crecimiento socioeconómico. Bajo esta perspectiva, el sistema opera como un ciclo que se retroalimenta, y por tanto requiere ser apoyado de un modo integral (a nivel de las tres actividades) para lograr un funcionamiento exitoso y sostenible.

Una implicación de esta perspectiva es que su funcionamiento depende del apoyo integrado a las tres actividades del ciclo: ciencia básica, tecnología, e industria. Una visión de apoyo que se sesgue hacia las acciones más cercanas a la generación de recursos, por ejemplo solamente hacia la industria, a pesar de sus claros atractivos inmediatos, puede perder vigencia muy rápidamente. Las tecnologías no están exentas del riesgo de ser repentinamente desplazadas o volverse obsoletas a raíz de los cambios que se pueden originar de descubrimientos científicos fundamentales.

La innovación, entendida como la actividad que busca cambios que modifiquen elementos pre-existentes con el fin de mejorarlos, optimizarlos, o renovarlos, es un concepto que ha cobrado importancia en la visión más reciente de la investigación tecnológica y su cercana relación con la industria (aunque no tanto con la investigación

fundamental). La importancia de la innovación para la competitividad económica, si bien es universalmente reconocida, debe considerarse con cautela dentro del balance integral del ciclo ciencia-tecnología-industria, ya que puede conducir a sesgos que menoscaben las actividades de investigación básica. En este sentido, cabe reflexionar sobre la frase expresada por Jerome Friedman, Premio Nobel de Física en 1990, quien nos recuerda la importancia de este balance integral (Fig.3.3).

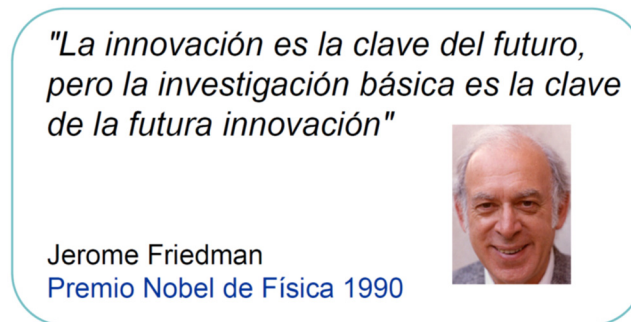


Figura 3.3: Esta frase del profesor Friedman nos recuerda la interrelación de la innovación con la investigación científica fundamental, destacando la importancia de la segunda como base esencial del ciclo ciencia-tecnología-industria. Imagen: Fundación Nobel, www.nobelprize.org/prizes/physics/1990.

De hecho, a pesar de que las grandes revoluciones tecnológicas nos impactan y asombran por sus importantes aplicaciones prácticas, puede pasar desapercibido el hecho de que dichas revoluciones poseen un fuerte componente de conocimientos básicos, diríamos, ocultos bajo la línea de flotación del "iceberg". La revolución industrial que mecanizó una infinidad de procesos manuales durante los siglos XVIII y XIX fue sustentada por un fuerte desarrollo de la física, la química, la geometría y las matemáticas (Fig.3.4). Igualmente, en la era de la revolución informática, la gran expansión de conocimientos en dichas disciplinas fundamentales posibilitó el desarrollo de microcircuitos electrónicos cada vez más eficientes, como lo describía hasta hace poco la 'ley de Moore' sobre los microchips: cada 18 meses su eficiencia se duplicaba y su costo bajaba a la mitad.

En las naciones de mayores ingresos y desarrollo científico, el reconocimiento de la importancia al fomento integral de las tres actividades del ciclo ciencia-tecnología-industria se evidencia de distintas formas. Entre ellas, podemos observar el fenómeno de la formación de recursos humanos especializados a través de programas de alto nivel universitario, en donde los doctorados académicos en las ciencias básicas y en las ingenierías muestran un interesante balance y estabilidad, por ejemplo en los EUA (Fig.3.5).



Figura 3.4: El desarrollo de disciplinas fundamentales como la física, la química, y las matemáticas, dio bases imprescindibles para la revolución industrial ocurrida durante los siglos XVIII y XIX. Imagen: *Wikipedia Commons*.

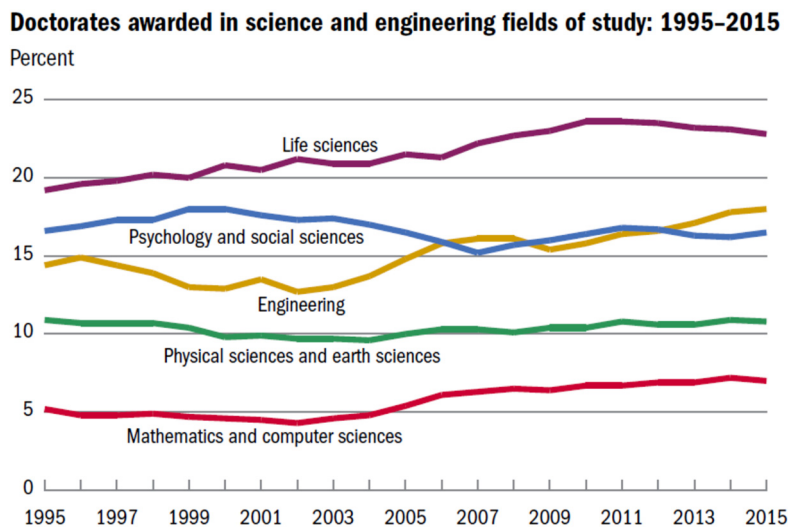


Figura 3.5: Evolución de los doctorados otorgados en universidades de los EUA en distintos campos de estudio de las ciencias naturales, sociales, e ingenierías (*National Science Foundation, 2015*).

Otro ejemplo es la formación de recursos humanos de alto nivel en países con gran fortaleza en producción industrial, como el caso de China. Aparte de la formación que se desarrolla en sus propias universidades, el número de estudiantes de nacionalidad china que viajaron a educarse en universidades de los EUA y el Reino Unido experimentó un impresionante aumento del 163% y 494%, respectivamente, entre los años 2000 y 2010 (Fig.3.6A). Este evidente impulso a la educación de sus nacionales en muchas de las universidades más avanzadas del mundo (Fig.3.6B) se distribuye entre distintas disciplinas, y llama la atención que la mayor proporción de doctorados realizados por los chinos correspondieron a campos básicos como la física y la matemática, incluso superando a las ingenierías y la computación (Fig.3.6C). Estos datos podrían interpretarse como un interés en fomentar el desarrollo de la ciencia fundamental como base para la sostenibilidad del ciclo productivo, ya de por sí muy desarrollado en países asiáticos como China, Corea del Sur, Taiwan, y otros.

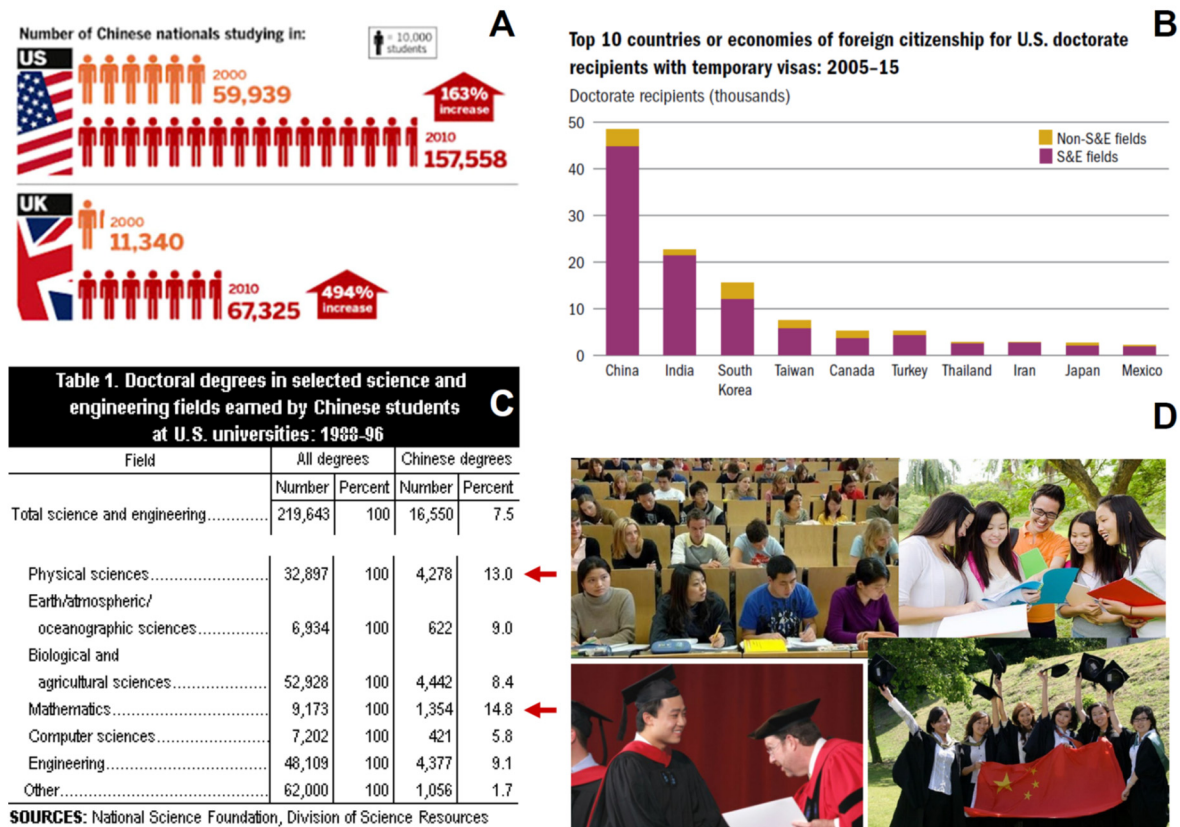


Figura 3.6: Crecimiento en la formación de doctorados de estudiantes de China en las universidades de EUA y Reino Unido (A). Otras naciones que poseen una fuerte industria de manufactura comparten una alta proporción del estudiantado doctoral extranjero en los EUA (B). Llama la atención el impulso a la formación en campos fundamentales de las ciencias, por ejemplo física y matemáticas (flechas en panel C). No es infrecuente ver la primera fila de las aulas universitarias de EUA ocupadas por estudiantes de Asia, y en particular de China (D).

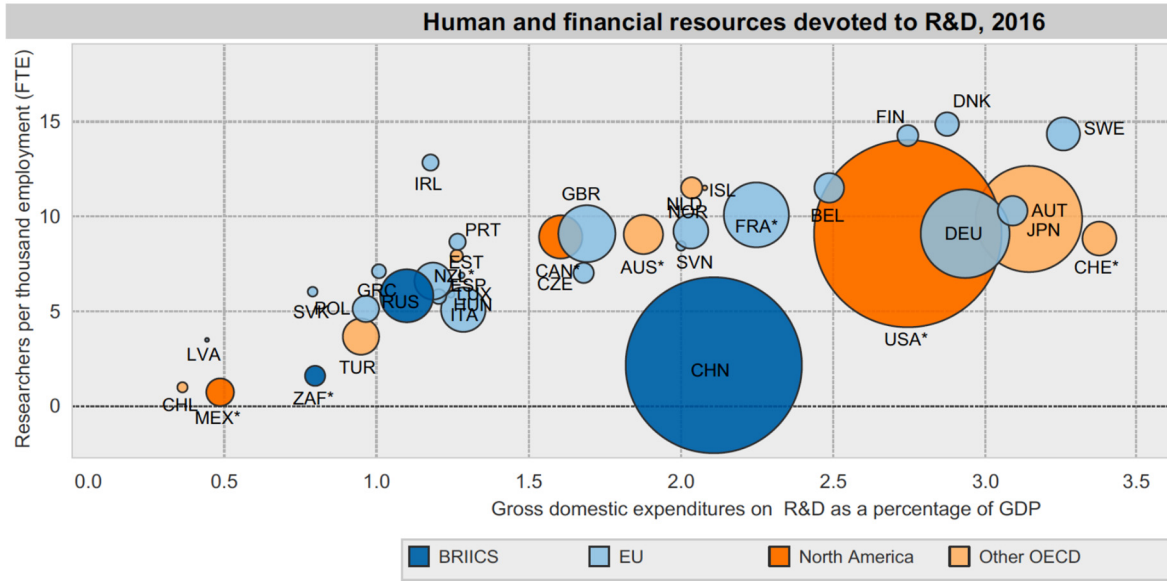


Figura 3.7: Recursos humanos y financieros dedicados a la investigación y desarrollo (R&D; *research and development*) en distintos países. El eje horizontal representa el gasto (GERD: *gross expenditure in R&D*) expresado en términos del porcentaje del producto interno bruto (GDP) nacional. El eje vertical representa el número de investigadores por cada 1000 empleos. El área de los círculos representa la magnitud de los presupuestos absolutos. Datos tomados de la OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) y Eurostat (*Main Science and Technology Indicators Database*); www.oecd.org. BRIICS: Brasil, Rusia, India, China, Sudáfrica. EU: Unión Europea. La figura ilustra las amplias diferencias existentes entre las naciones.

3.4 Los matices de la investigación: ciencia básica, ciencia aplicada

Si bien se reconoce que la ciencia es un concepto único o singular, frecuentemente se le clasifica dentro de dos grandes modalidades, como se esbozó en la sección anterior. Consideraremos aquí a la ciencia básica (o investigación científica) como la actividad que persigue generar nuevos conocimientos para incrementar la comprensión de la Naturaleza; y a la ciencia aplicada (o investigación tecnológica), como la actividad que busca la utilización creativa de los conocimientos en desarrollos y aplicaciones tangibles. A pesar de ser una sobresimplificación, y a sabiendas de que la frontera entre estos dos matices de la investigación puede ser difusa en ciertas ocasiones, esta conceptualización puede ser de utilidad para distinguir las metas que se persiguen, y por ende, los indicadores esperables.

Se deriva de lo anterior que la investigación científica no busca necesariamente una aplicabilidad inmediata de los conocimientos, sino que es motivada por la curiosidad pura, y que su justificación es la expansión de las fronteras del conocimiento. Por otra parte, la investigación tecnológica busca el aprovechamiento práctico de los conocimientos como su principal fin. Por tal razón, es mucho más fácil para el público

general comprender la importancia de la investigación aplicada o tecnológica (a diferencia de la investigación fundamental). En ocasiones, esta última incluso llega a ser cuestionada, a nivel popular, debido al desconocimiento de su relevancia para proveer los insumos de conocimiento básico sobre los que se cimienta la investigación tecnológica. A modo de ejemplo, pensemos que en la época en que se iniciaron los estudios pioneros en Física sobre las radiaciones (invisibles al ojo humano) que emitían algunos minerales poco conocidos, hubiera sido imposible imaginar los enormes beneficios para la Medicina que posteriormente se derivarían del descubrimiento y utilización de los rayos X. El concepto de la interrelación entre el conocimiento científico fundamental y sus aplicaciones, fue brillantemente resumido por el argentino Bernardo Houssay (Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1947), en su frase “no hay ciencia aplicada sin ciencia que aplicar”.

3.5 Las fuentes de financiación de la ciencia

La ciencia fundamental provee conocimientos que pueden tener, en el corto o largo plazo, implicaciones prácticas y - en consecuencia - económicas y sociales. Es por ello que el financiamiento de la investigación en el mundo proviene tanto de fuentes públicas (gobiernos) como de fuentes privadas (industria, empresas, fundaciones, organizaciones sin fines de lucro, etc.). El aporte relativo de ambos tipos de recursos es variable entre distintas naciones, aunque por lo general, en los países de altos ingresos, las fuentes privadas superan a las públicas en sus aportes a la investigación (Cuadro 3.1). Sin embargo, esto no es una regla absoluta, y además es importante considerar que las políticas de financiamiento para la investigación pueden variar en distintas épocas aún dentro de una misma nación, dependiendo de los lineamientos políticos e ideologías de sus gobiernos de turno (Fig.3.7).

Cuadro 3.1: Porcentaje del gasto en Investigación y Desarrollo que aporta el sector privado en las 15 naciones con mayor inversión porcentual de su PIB (fuente: UNESCO, 2018).

Posición (%PIB)	País	Aporte del sector privado (%)	Posición (%PIB)	País	Aporte del sector privado (%)
1	Corea	78	9	Alemania	68
2	Israel	84	10	EUA	71
3	Japón	78	11	Slovenia	77
4	Finlandia	68	12	Bélgica	70
5	Suiza	71	13	Francia	64
6	Austria	71	14	Singapur	61
7	Suecia	67	15	Australia	56
8	Dinamarca	64			

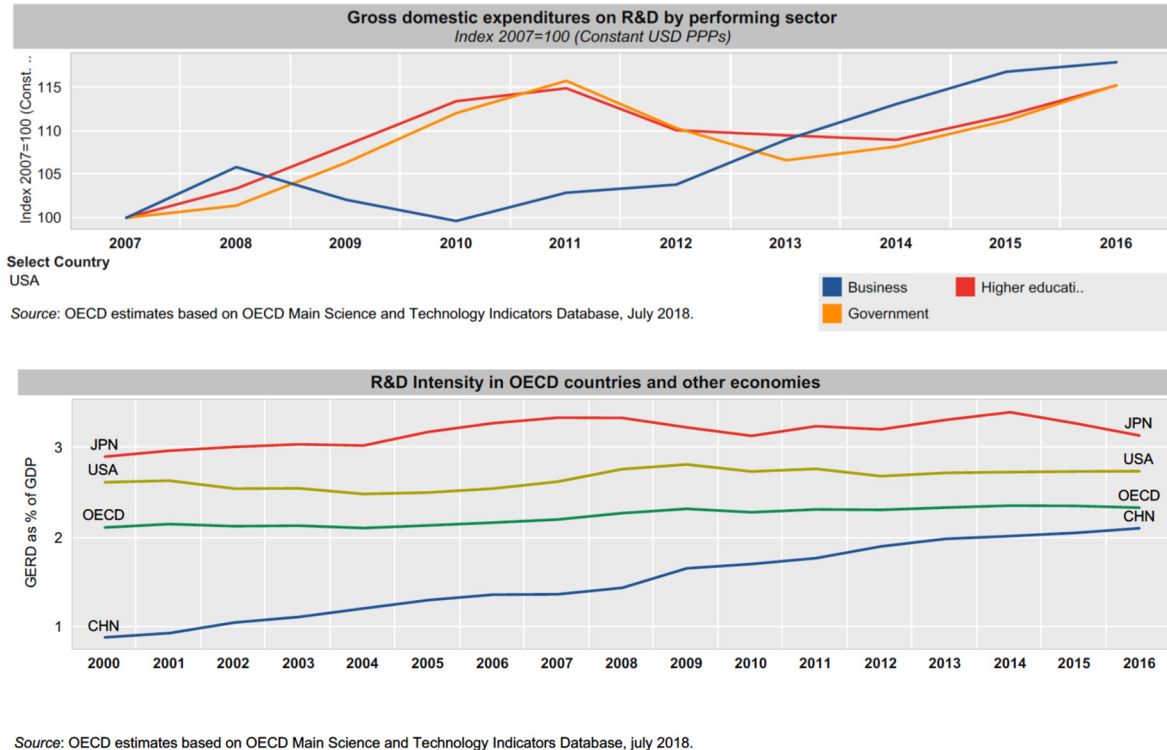


Figura 3.8: (Arriba) Financiamiento a la Investigación y Desarrollo (R&D) en EUA, según su origen: sector privado (azul), sector gubernamental (naranja), y sector de educación superior (rojo). (Abajo): Comparación del porcentaje del PIB dedicado a R&D en Japón, EUA, y China, en comparación con el promedio de las 38 naciones que conforman la OECD. Fuente: www.oecd.org.

3.6 Indicadores del desarrollo científico

La diversidad, naturaleza abstracta, y complejidad de la actividad investigativa en ciencia y tecnología hacen que su 'medición' a través de indicadores no sea una tarea simple. Aun así, existen algunos indicadores que aproximan este objetivo, orientados por los distintos enfoques que posee la investigación (Fig.3.9). Los nuevos conocimientos básicos son universalmente comunicados a través de su publicación formal en medios especializados, mayormente en revistas (aunque también en libros). Por ello, históricamente las publicaciones científicas se han consolidado como el principal indicador para la investigación, especialmente para las ciencias básicas. La investigación tecnológica también es objeto de comunicación mediante publicaciones en revistas y textos especializados. Sin embargo, cuando el caso lo amerita, antes de publicar la información, esta puede protegerse a nivel de propiedad intelectual, por ejemplo mediante la solicitud de una patente. Es por ello que el número de patentes concedidas se utiliza como un útil indicador para evaluar la investigación tecnológica. Otro indicador relacionado, y de seguro más informativo, es el número de patentes que llegan a ser explotadas comercialmente. Este parámetro refleja un nivel de eficiencia mayor, pues se sabe que una alta proporción de las patentes otorgadas nunca llega a ser

explotada mediante licenciamientos, transferencias remuneradas, u otras formas de explotación comercial.

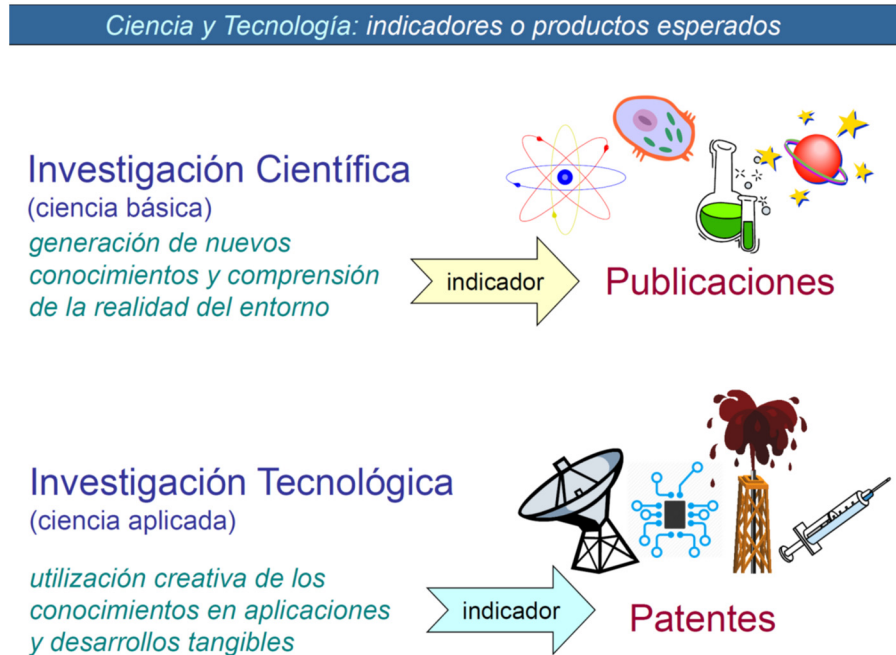


Figura 3.9: Los estimadores más usuales de la actividad investigativa en ciencia y tecnología están orientados por sus distintos enfoques y propósitos.

3.7 La producción de publicaciones en el mundo

Considerando las asimetrías señaladas en la actividad investigativa de las distintas naciones (sección 3.2), no sorprende el paralelismo que existe con respecto a la generación de nuevos conocimientos publicados en revistas científicas (Fig.3.10). El país que en términos absolutos mantiene una posición dominante en el número de publicaciones generadas es EUA, seguido por China, en notable crecimiento. A estos dos países les siguen las naciones de Europa con una larga tradición científica (lideradas por el Reino Unido y Alemania), así como de Asia (lideradas por Japón, India y Korea) y Oceanía (Australia). Es evidente la ausencia de naciones del África subsahariana en el 'mapa de la productividad científica' representado en la Fig.3.10, así como de muchas naciones de Latinoamérica. Este tipo de análisis se puede realizar también introduciendo un criterio cualitativo, como lo es la proporción de publicaciones en el 1% superior de los artículos con más citaciones (Fig.3.11). En dicho análisis, se puede notar que la productividad de EUA es no solamente la mayor en términos cuantitativos, sino también en su impacto (estimado a través de cifras de citación de los artículos; ver Cap.10).

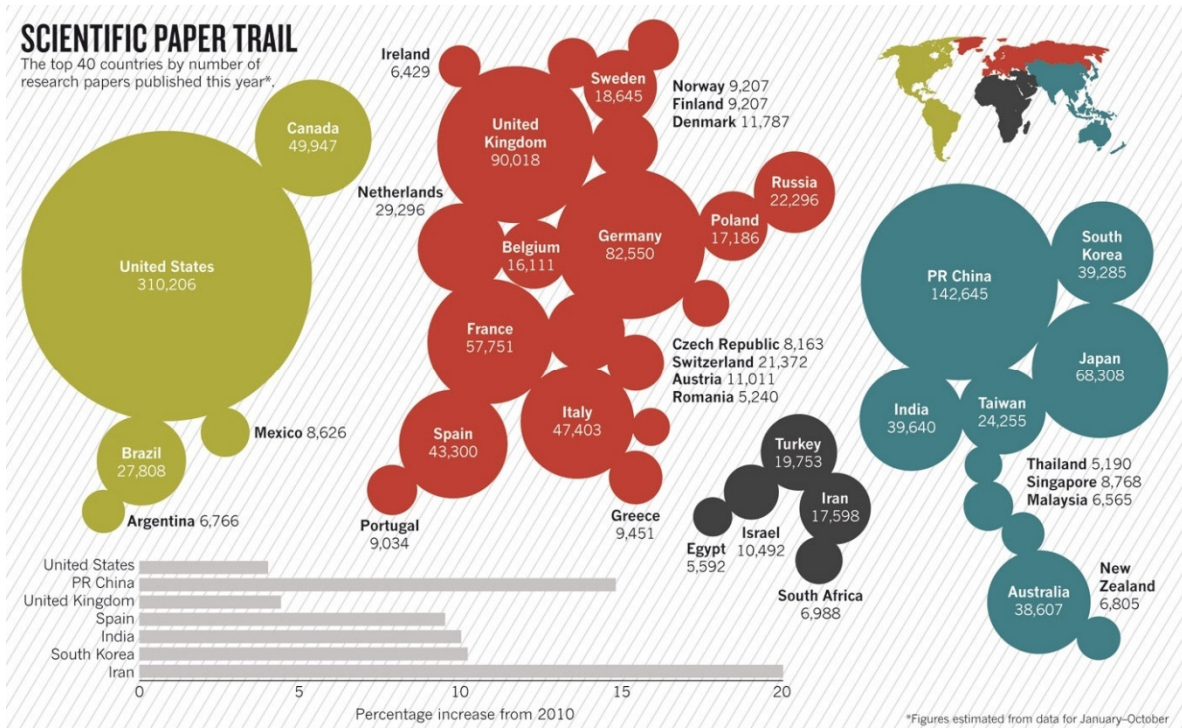


Figura 3.10: Producción de publicaciones científicas por parte de distintas naciones (2012). Las áreas de los círculos son proporcionales a las cifras absolutas de artículos publicados por los 40 países de mayor productividad. Los continentes están representados con diferentes colores (ver mapamundi arriba a la derecha). Tomado de Infographic: Scientific Paper Trail (<https://visual.ly/community/infographic>).

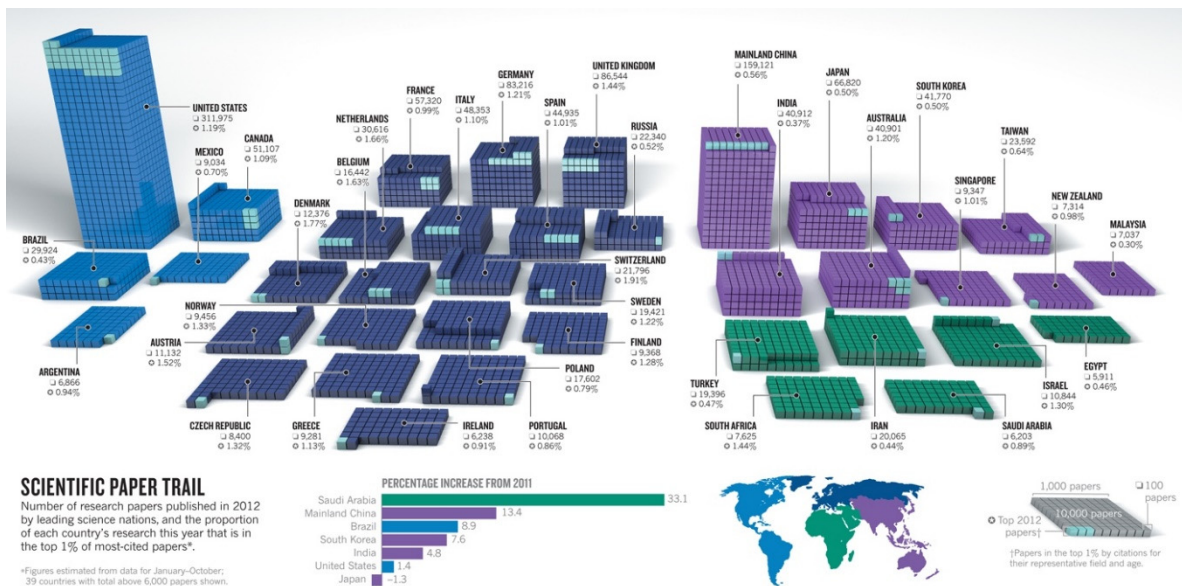


Figura 3.11: Proporción de las publicaciones científicas que alcanzan el 1% superior de las citas, por parte de distintas naciones (2012). Estos artículos de alto impacto se representan mediante cubos celestes, donde cada cubo equivale a 100 publicaciones. Tomado de Infographic: Scientific Paper Trail (<https://visual.ly/community/infographic>).

Las diferencias entre países en cuanto a la producción de publicaciones científicas, y por ende, en cuanto a la investigación básica, se acentúan de una manera aún más evidente cuando se analiza la generación, el otorgamiento, y la explotación de patentes y otras formas de protección intelectual a nivel internacional. Algunos datos recopilados por el sistema internacional de patentes WIPO/PCT (*World Intellectual Property Organization/Patent Cooperation Treaty*) reflejan la dominancia de los países de altos ingresos en la aplicación de patentes en distintas oficinas regionales (Fig.3.12).

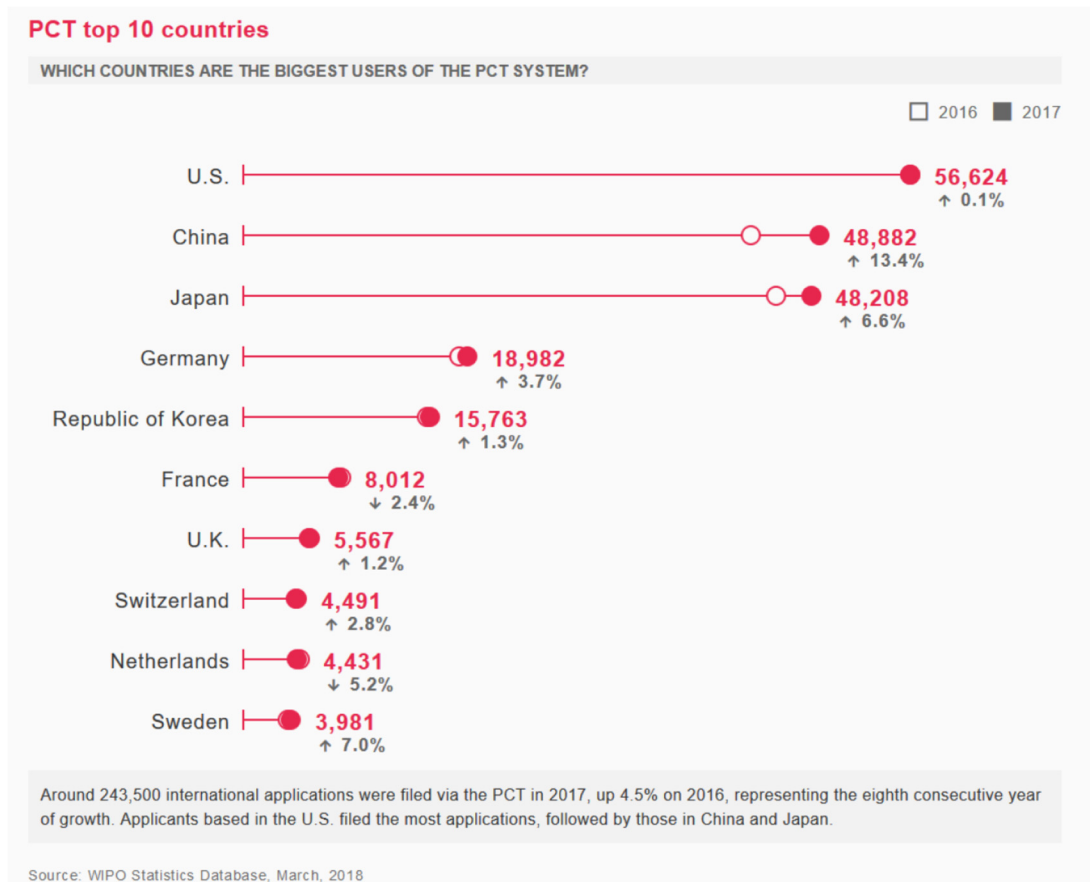


Figura 3.12: Países que realizaron el mayor número de solicitudes de patentes internacionales a través del PCT (*Patent Cooperation Treaty*) en el 2017. Este tratado abarca 152 estados signatarios. Las patentes abarcan todas las áreas tecnológicas, incluyendo desde comunicación digital, aparatos de electrónica y cómputo, transporte, artefactos mecánicos, hasta tecnología médica.

Al igual que en el caso de las publicaciones, el crecimiento de China en el aspecto de generación de patentes es notable. Sin embargo es interesante que, según datos de WIPO/PCT, cerca del 96% de todas las patentes que se originan de China se solicitan allí mismo, frente a solo un 4% que se solicita en oficinas del exterior. En contraste, las solicitudes en países externos representan cerca del 43% de las aplicaciones originadas

por Japón o los EUA. Como podría esperarse, el aporte porcentual de patentes originadas en países de Latinoamérica es muy modesto, en comparación con los grandes generadores de tecnologías.

3.8 Ciencia en Costa Rica: breve mirada histórica y características

Como cabría esperar, la actividad científica y tecnológica de Costa Rica es evidentemente joven, cuando se compara con otros contextos de gran tradición y desarrollo en estas áreas. El filósofo e historiador de la ciencia, Guillermo Coronado, analizó la evolución científica de este país, dividiéndola en una serie de etapas (Coronado, 1997), *grosso modo* resumidas a continuación, y manteniendo las denominaciones originales de dicho autor.

(I) Los científicos 'cometas': se refiere a la llegada a Costa Rica de una serie de naturalistas extranjeros, entre 1843 y 1887, quienes realizaron estudios descriptivos sobre nuestra flora y fauna, características geológicas y vulcanológicas, o diversidad étnica y cultural, por ejemplo. Debido a que estos investigadores visitantes regresaron posteriormente a sus países, su contribución al desarrollo de la ciencia endógena es considerada escasa. Sus aportes los publicaban fuera del contexto costarricense, en medios que no estaban al alcance del país en aquella época.

(II) La instalación de la actividad científica: Guillermo Coronado marca esta segunda etapa (1887-1904) por dos eventos importantes. Uno de ellos es el establecimiento del Museo Nacional (4 de mayo, 1887), inspirado por el *Smithsonian Institution* de Washington, con el joven naturalista Anastasio Alfaro como su figura clave. Y por otra parte, la llegada al país de un grupo de científicos o naturalistas europeos (1886-1889) para ejercer docencia en la Escuela Normal, en la Universidad de Santo Tomás, y en colegios de secundaria. Se destacan en este grupo Henri Pittier, Pablo Biolley, Gustavo Michaud, Juan Rudín, y otros. Como parte de sus múltiples influencias, se crearon editoriales para la comunicación científica (ej. el Boletín del Instituto Físico-Geográfico), sociedades científicas, y centros como el Observatorio Meteorológico y el Herbario Nacional. Un destacado actor de esta etapa es José Fidel Tristán, inicialmente discípulo de varios de los extranjeros mencionados, y posteriormente Director del Colegio de Señoritas y del Museo Nacional.

(III) El aislacionismo: la tercera etapa (1904-1940) en esta visión de la historia, desde la perspectiva de Coronado, está marcada por el trabajo individual y aislado de algunos científicos costarricenses, algunas veces apoyados por visitantes del exterior. La actividad científica aún no se había profesionalizado, siendo la mayoría de sus actores docentes en colegios de secundaria. Por mucho, el investigador más destacado de esta época fue el Dr Clodomiro Picado, formado en Francia, quien desde el laboratorio del Hospital San Juan de Dios realizó numerosas contribuciones originales al conocimiento.

Las publicaciones efectuadas por Picado se han recopilado en un extenso volumen de más de 800 páginas, en la edición de sus 'Obras Completas' por la Editorial Tecnológica de Costa Rica. Aunque desde la perspectiva de Coronado, el Dr Picado fue 'una especie de lobo solitario' que 'realmente no formó una escuela de investigadores a su alrededor', esta visión es debatida por algunos, dado que alrededor de Picado surgió un grupo de discípulos de relevancia en el país (Gutiérrez, 2019). Independientemente de este debate, se ha destacado claramente el hecho de que Picado introdujo por primera vez la experimentación y el planteamiento de hipótesis en la investigación de aquella época, que anteriormente se limitaba esencialmente a estudios de naturaleza descriptiva.

(IV) Ciencia en la Universidad: asociada con la creación de la Universidad de Costa Rica, esta etapa (1940-1957) marca la ubicación de la actividad científica en la educación superior. En relación con las ciencias biomédicas, se destaca en este período la formación y consolidación de la Facultad de Microbiología (1957), en la cual sobresale una generación de jóvenes investigadores universitarios de alto nivel, entre ellos Leonardo Mata, Mario Vargas, Pedro Morera, Róger Bolaños, y Rodrigo Zeledón, y otros. La 'Revista de Biología Tropical' nace en 1953, en la UCR, como un legado del desarrollo durante esta etapa.

(V) Institucionalización de la investigación en la universidad: abarcando el período 1957-1973, se desarrolla en la UCR un proceso de reconocimiento de la importancia de las ciencias y de la investigación científica a través de la creación de organismos para fomentar y coordinar esta actividad. En 1964 se establece la 'Comisión Universitaria de Investigación' (CUNI), que en 1973 da origen a la creación la actual Vicerrectoría de Investigación.

(VI) Coordinación nacional: esta etapa (1973-1986) se caracteriza por el fomento de la ciencia y la tecnología a nivel nacional, y su coordinación a través de la creación del Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), mediante la ley 5048 (del 22 de agosto de 1972). En parte, la creación de dicha institución responde a tendencias internacionales del ámbito latinoamericano que buscaban impulsar los procesos de desarrollo de las naciones. Uno de sus principales gestores, y luego presidente del Consejo Directivo durante 1973-1987, fue el Dr Rodrigo Zeledón. En este período surgen nuevas instituciones estatales de educación superior que se integran a la actividad científica: el Instituto Tecnológico de Costa Rica (1971) y la Universidad Nacional (1973). El CONICIT introduce el financiamiento de proyectos y el apoyo a la formación académica de recursos humanos (en el país y en el extranjero). Además, dicha institución asume la tarea del reconocimiento a las labores de investigación en ciencia y tecnología a través de la administración de los Premios Nacionales correspondientes, que a la sazón llevan el nombre del Dr Clodomiro Picado.

(VII) Institucionalización política: esta etapa (1986-1994) inicia con la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT), inicialmente como un decreto emitido en 1986 durante la presidencia de Oscar Arias Sánchez, con Rodrigo Zeledón como ministro a su cargo, y posteriormente por la promulgación de la ley 7169 (Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico) en 1990, durante la presidencia de Rafael A. Calderón Fournier, con Orlando Morales como ministro. La creación de un ministerio le otorga a las ciencias y tecnologías un 'brazo político' en el gobierno, y deja al CONICIT como el 'brazo ejecutor' o ente administrativo de los lineamientos dictados a nivel ministerial. Durante esta etapa se crea la Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica (1992) mediante un decreto del MICIT, con 26 miembros fundadores, así como los Colegios Científicos, un importante semillero de jóvenes estudiantes con afinidad por la investigación científica y tecnológica.

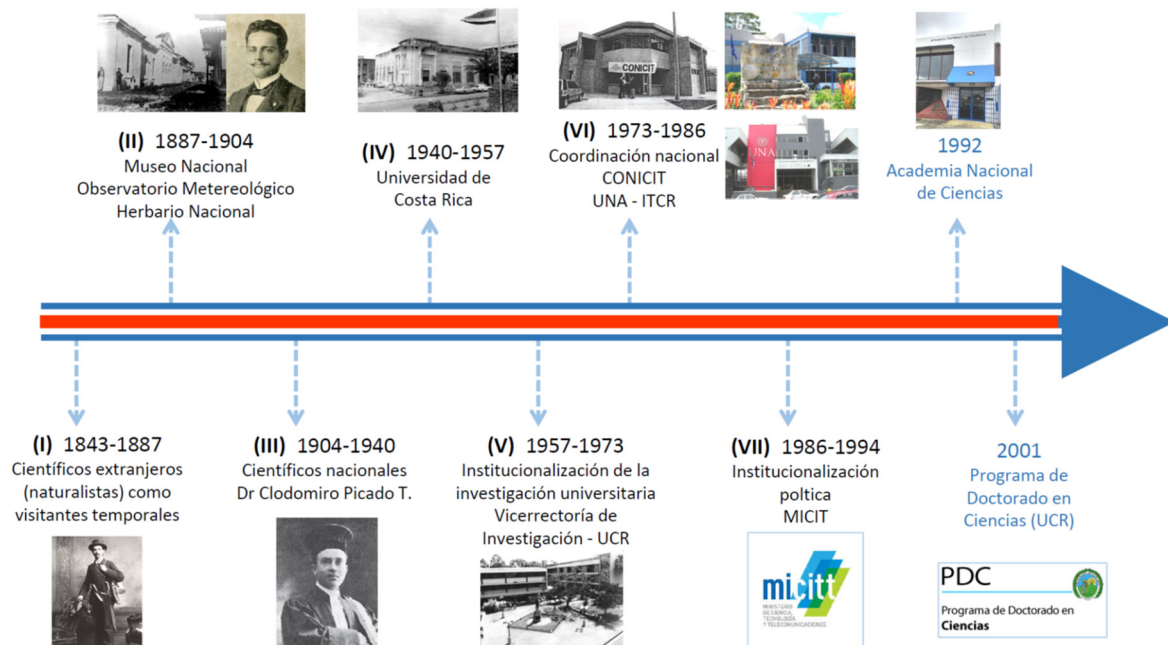


Figura 3.13: Una síntesis de las etapas de la evolución histórica de la ciencia en Costa Rica, según el esquema planteado por Coronado (1997). Como un hito reciente, se agregó la creación del primer programa académico para la formación de doctorados en ciencias, a partir del 2001. Elaboración propia con imágenes de internet no sujetas a derechos de autor.

3.9 El desarrollo de la ciencia en Costa Rica desde la óptica de la producción de publicaciones indexadas internacionalmente

Como se esbozó en la sección anterior, la ciencia en Costa Rica se ha desarrollado, en etapas recientes, principalmente alrededor de las instituciones de educación superior

públicas, en especial la UCR, aunque con una creciente participación de la Universidad Nacional (UNA) y el Instituto Tecnológico (ITCR). El CATIE-IICA también ha sido un importante actor de esta actividad. A diferencia de lo descrito para naciones con alto desarrollo científico, la participación de la empresa privada en investigación es muy reducida en nuestro país. Igualmente, las numerosas universidades privadas no han jugado un papel palpable en esta actividad, la cual ocupa una posición evidentemente marginal en sus objetivos.

Tradicionalmente, la recopilación de diversos indicadores sobre la actividad científica y tecnológica en Costa Rica ha sido muy fragmentaria, e incluso poco precisa, evidenciando en ocasiones datos contradictorios (Fig.3.14).

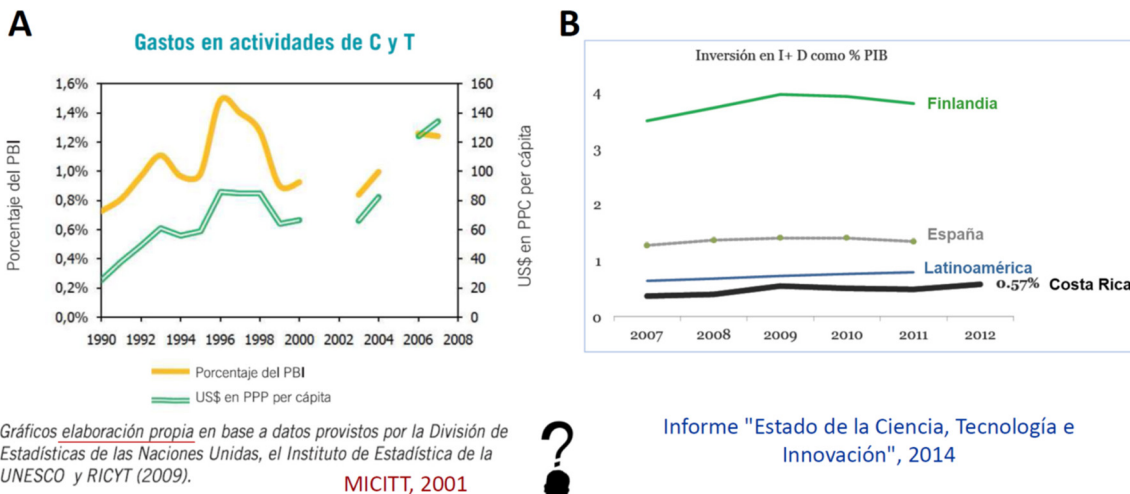


Figura 3.14: La inversión de Costa Rica en investigación y desarrollo (I+D), como porcentaje de su PIB, para el año 2007, es mostrada como 1,2% en datos presentados por el MICITT (A), pero menos de la mitad (0,5%) en los datos presentados por el programa Estado de la Nación (B). Este ejemplo ilustra las limitaciones en cuanto a exactitud de la información referente a indicadores para la actividad científica. Además, la información es a menudo fragmentaria o desconocida, como se observa en (A).

A pesar de sus limitaciones, la información nacional sobre actividades de Ciencia y Tecnología ha experimentado mejoras graduales, y en años recientes se han realizado mayores esfuerzos para recopilar datos pertinentes a distintos indicadores, especialmente a través de los estudios que desarrolla el programa Estado de la Nación, y las estadísticas que reúnen el CONICIT y MICITT¹.

¹ El Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) cambia posteriormente su nombre a Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT)

Hace relativamente pocos años, las instituciones responsables no recopilaban información sobre la producción de publicaciones científicas del país, pese a ser este parámetro uno de los principales indicadores en ciencia. Por ejemplo, en el informe 'Indicadores Nacionales 2006-2007 en Ciencia, Tecnología e Innovación', publicado por el MICIT en el año 2009, causa asombro la completa ausencia de datos referentes a publicaciones científicas. En las 100 páginas del informe, que incluye 72 cuadros, 3 gráficos, y 29 anexos estadísticos, los términos 'publicaciones científicas' o 'artículos científicos' no aparecen ni una sola vez. Sin embargo, en informes más recientes se comienza a reconocer la relevancia de este indicador.

El primer estudio que se propuso analizar el desarrollo científico en Costa Rica, registrando la generación de publicaciones a través de herramientas bibliométricas digitales, fue publicado en el año 2000, abarcando un período retrospectivo de 19 años, desde 1980 hasta 1998 (Lomonte & Ainsworth, 2000). Este análisis se centró en la producción de artículos indexados en la principal base de datos de literatura científica de la época, el *Science Citation Index*. Sus resultados revelaron por primera vez una serie de características de la actividad científica de los autores de instituciones costarricenses que publicaron sus investigaciones a nivel internacional, en las distintas áreas de la ciencia. El análisis de las 1.936 publicaciones recopiladas mostró un predominio temático en las áreas de ciencias biomédicas (~39,2%), seguida por las ciencias biológicas (~24,5%) y agronómicas (~16,5%). Otras áreas fundamentales de las ciencias tuvieron una participación más limitada en las publicaciones de indexación internacional (Fig.3.15):

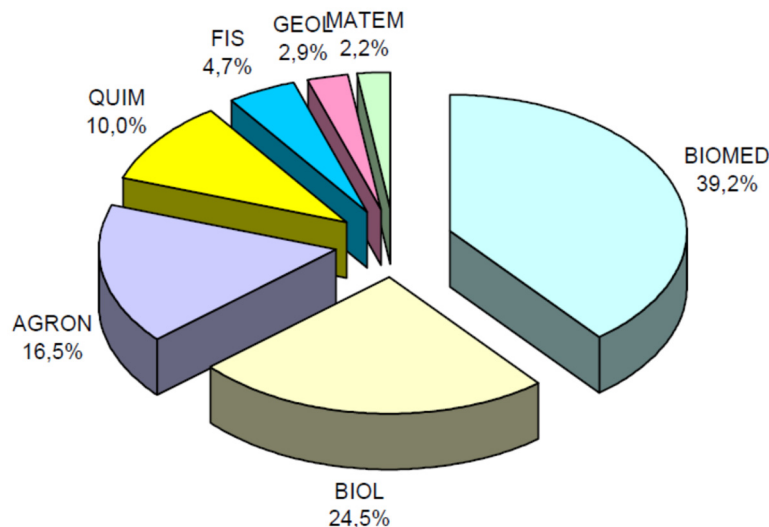


Figura 3.15: Distribución de 1.936 publicaciones científicas de autores costarricenses indexadas en el *Science Citation Index* (1980-1998) según su área temática principal. BIOMED: ciencias biomédicas; BIOL: ciencias biológicas; AGRON: ciencias agronómicas; QUIM: química; FIS: física; GEOL: geología; MATEM: matemáticas (Lomonte y Ainsworth, 2000).

Desde una perspectiva temporal, las áreas temáticas en ciencias biomédicas y biológicas tuvieron el mayor crecimiento, en contraste con las publicaciones en agronomía, que mostraron más bien una disminución (Fig.3.16). El estudio de la productividad de publicaciones de circulación internacional generadas por autores con afiliación institucional de Costa Rica se ha ampliado en años más recientes (Lomonte & Ainsworth, 2002; Monge-Nájera & Ho, 2012) y en la actualidad forma parte integral de los análisis que realiza el programa Estado de la Nación, con el subprograma Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTI), en CONARE.

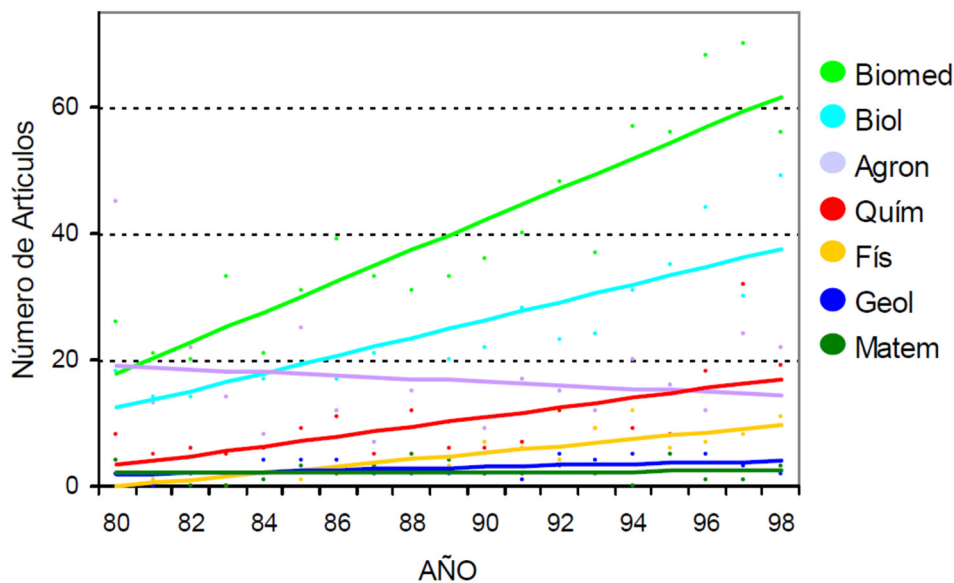


Figura 3.16: Evolución temporal (líneas de tendencia) de 1.936 publicaciones científicas de autores costarricenses indexadas en el *Science Citation Index* (1980-1998) según su área temática principal. BIOMED: ciencias biomédicas; BIOL: ciencias biológicas; AGRON: ciencias agronómicas; QUIM: química; FIS: física; GEOL: geología; MATEM: matemáticas. (Lomonte y Ainsworth, 2000).

Una característica interesante del fenómeno científico costarricense de las últimas décadas (el cual muestra un crecimiento sostenido de publicaciones; Fig.3.17) es la tendencia creciente a colaborar con autores de afiliación extranjera (Fig.3.18). Durante la década de 1980 dichas publicaciones representaban cerca de un tercio del total de la producción, mientras que para la década del 2000 ya un 70-75% de los artículos se publicaban en coautoría con investigadores de otras naciones. Otro dato reflejado por estos análisis de tipo bibliométrico (ver Capítulo 10) es el predominio de la UCR en la generación de publicaciones por autores costarricenses (Fig.3.19), lo cual no es sorprendente si se considera el contexto histórico institucional del país en el

ámbito de la investigación científica. En tal sentido, también es esperable que la proporción de publicaciones de la UCR con respecto a la producción total vaya evolucionando hacia un mayor equilibrio entre las diferentes instituciones que realizan investigación, conforme a su desarrollo gradual, como se observa en la línea de tendencia representada en la Fig.3.19.

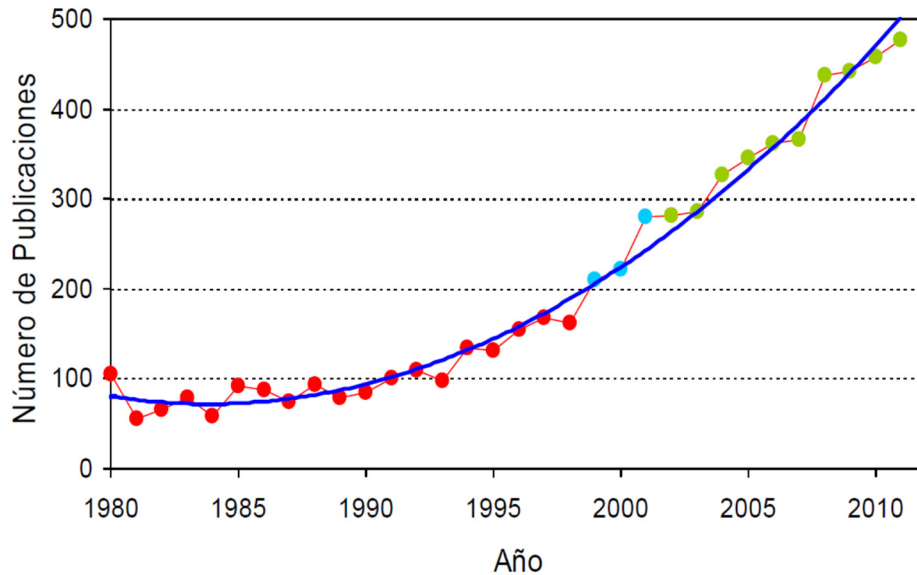


Figura 3.17: Evolución temporal del número total de publicaciones generadas por autores costarricenses e incluidas en *Science Citation Index* (1980-2011). Adaptado de Lomonte & Ainsworth (2000; puntos rojos), Lomonte & Ainsworth (2002; puntos celestes) y datos no publicados del autor (puntos verdes).

El informe más reciente del 'Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación' (2014) resume algunas de las características de estas tres actividades (CTI) en el país mediante las siguientes afirmaciones generales (cita textual):

(a) *'Una robusta plataforma para la CTI endógena es crucial para el futuro del país. Por CTI endógena se entiende aquella producida, adaptada y difundida principalmente por actores nacionales y orientada a satisfacer las necesidades del desarrollo humano en la sociedad costarricense.'*

(b) *'La plataforma actual para la CTI endógena es frágil, desigual, poco o mal incentivada y relativamente desconocida. En términos generales, los logros son menores a los esperados de acuerdo con el nivel de desarrollo del país y la modernización experimentada en las últimas décadas.'*

(c) *'Las políticas nacionales en CTI son débiles, fragmentadas y desconectadas de las fortalezas científicas que han logrado construir las comunidades locales de investigadores e innovadores. También están desvinculadas de las políticas de fomento productivo, las que a su vez muestran una alta dispersión y escasos impactos.'*

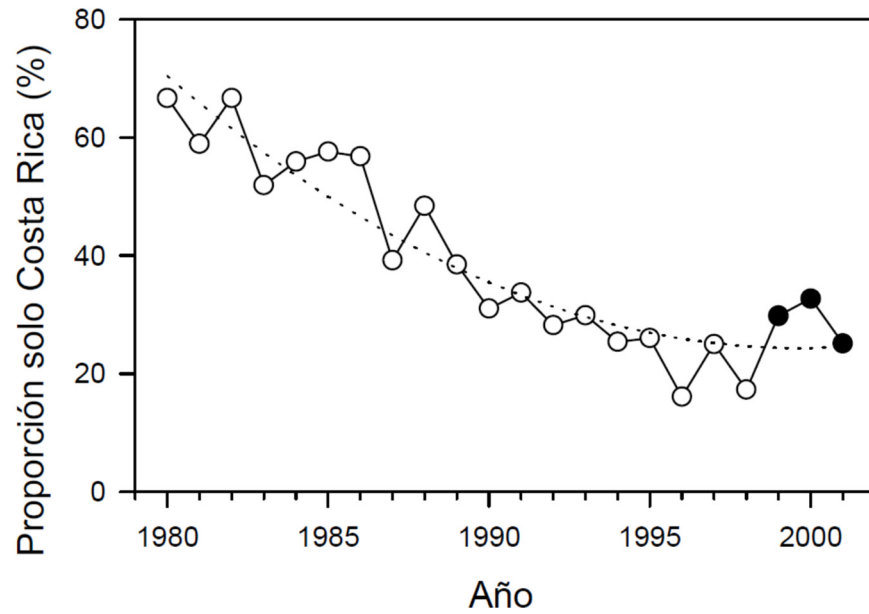


Figura 3.18: Evolución temporal de la proporción de publicaciones generadas por autores costarricenses e incluidas en *Science Citation Index* sin coautorías con investigadores de instituciones extranjeras. Adaptado de Lomonte & Ainsworth (2000; puntos blancos) y Lomonte & Ainsworth (2002; puntos negros).

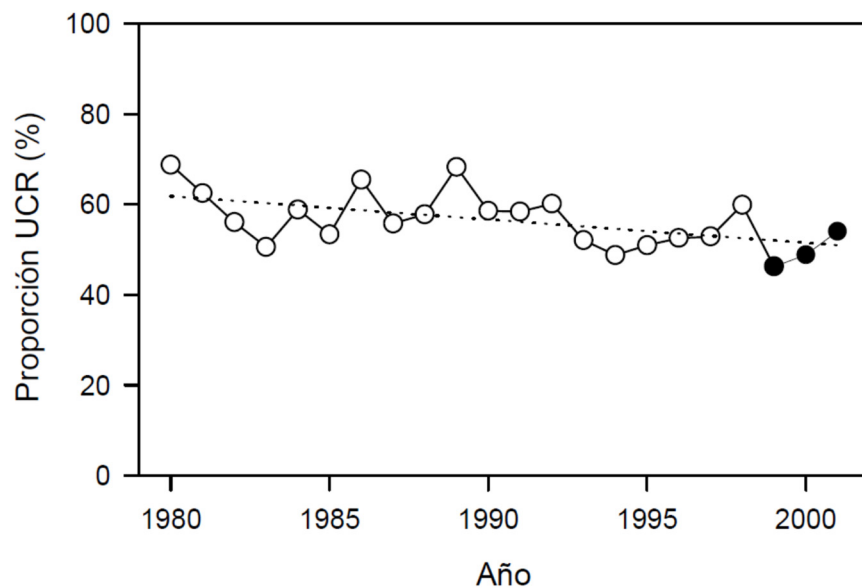


Figura 3.19: Evolución temporal de la proporción de las publicaciones generadas por autores de la Universidad de Costa Rica (UCR) con respecto al total de publicaciones de autores costarricenses e incluidas en *Science Citation Index*. Adaptado de Lomonte & Ainsworth (2002).

A estas conclusiones del informe, podríamos agregar que en nuestro medio es común que la financiación estatal (MICITT/CONICIT) para proyectos de investigación científica y tecnológica lleve un sesgo hacia lo segundo, por su relación más cercana con las aplicaciones y la producción industrial (Fig.3.20). Por otro lado, la financiación de investigaciones en instituciones públicas de educación superior, tiene un mayor balance temático entre la ciencia, la tecnología, y la innovación, al gozar de independencia política con respecto a las entidades estatales de fomento a las ciencias.

¿Tiene una micro, pequeña o mediana empresa que desea hacer crecer y ser más competitiva?

MICIT
Ministerio de Ciencia y Tecnología

CONICIT

El Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT)
pone a su disposición el **fondo PROPYME**, que cuenta con recursos no reembolsables para financiar proyectos en las siguientes áreas:

1. **DESARROLLO TECNOLÓGICO:** Investigación y desarrollo en nuevas tecnologías y procesos.
2. **PATENTES DE INVENCION:** Para proteger la propiedad intelectual.
3. **TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA:** Asesorías y equipamiento para el desarrollo de nuevos procesos.
4. **TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO:** Capacitaciones necesarias para el desarrollo tecnológico de la empresa.
5. **SERVICIOS TECNOLÓGICOS:** Apoyos para realizar pruebas de laboratorio, acreditación, certificación, normalización y otros servicios científicos-tecnológicos.

Solicite más información:
Correo electrónico propyme@micit.go.cr
Teléfono: 2248-1515 ext. 176

Sitio web
www.micit.go.cr

Figura 3.20: A modo de ejemplo, es común el lanzamiento de convocatorias para financiar diversas modalidades de proyectos con temáticas muy cercanas (o directamente relacionadas) a las tecnologías o a la producción, por parte del estado (MICIT/CONICIT). Las convocatorias para proyectos de investigación científica básica, en contraste, son menos comunes, o muy limitadas.

Como se mencionó, uno de los principales indicadores de la investigación tecnológica es la generación de patentes y formas afines de protección a la propiedad intelectual, así como su explotación real. En este tema, el análisis realizado en el Informe del Estado de la CTI (2014) descubre un desarrollo muy pobre para nuestro país (cita textual): *'Costa Rica es líder en América Latina y el Caribe en la producción de patentes por habitante. Sin embargo, ese liderazgo se desvanece cuando se considera el porcentaje de solicitudes de patentes efectuadas por los residentes en el país. En ese caso la situación desmejora significativamente, pues el número de patentes solicitadas por nacionales es*

casi nueve veces menor que el promedio de la región y únicamente supera a Guatemala' (Fig.3.21).

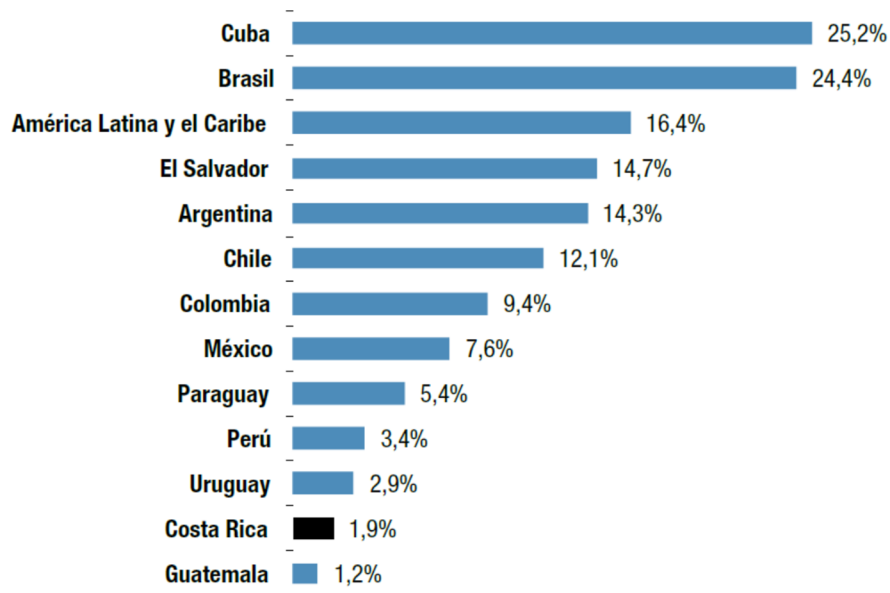


Figura 3.21: Porcentaje de patentes solicitadas por los nacionales de cada país en América Latina. Tomado de: Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (2014).

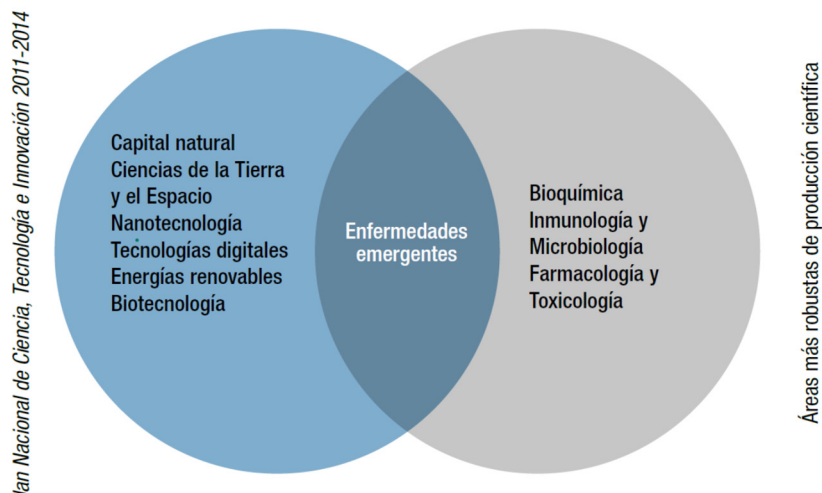


Figura 3.22: Comparación entre las áreas estratégicas definidas en el Plan Nacional de CTI 2011-2014 (izquierda) y las áreas más robustas de producción científica de Costa Rica (derecha). Tomado de: Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (2014).

Para finalizar, los diagnósticos realizados por el Informe del Estado de la CTI (2014) señalan un importante desfase entre las áreas que fueron definidas como estratégicas en el Plan Nacional de CTI 2011-2014, y las áreas más robustas de producción científica del país, como se muestra en la [Fig.3.22](#).

Capítulo 4

El método de la investigación científica

José María Gutiérrez

4.1 Introducción

La aparición de la ciencia moderna, lo que se ha denominado 'la revolución científica', ocurrió en Europa en los siglos XVI y XVII, producto de un complejo conjunto de procesos de tipo cultural, económico y político ([Capítulo 2](#)). Se trata de una forma de estudiar la realidad centrada, *grosso modo*, en la elaboración de hipótesis producto de la observación planificada y la experimentación, hipótesis cuya validez se pone a prueba mediante nuevas observaciones y experimentaciones, en un permanente proceso de verificación y re-elaboración. En el meollo de un proceso de investigación científica subyace el interés por estudiar, y comprender, un determinado aspecto de la realidad natural o social. Los resultados de esta actividad se comunican a la comunidad de personas que trabajan en un campo determinado de investigación, y también a la sociedad en su conjunto, en un amplio proceso de socialización del conocimiento.

En el presente capítulo se describen los principales aspectos y etapas por las que transcurre un proyecto de investigación científica, haciendo notar que, en el marco general de la investigación, existe una gran diversidad de formas metodológicas para abordar los temas.

4.2 El origen de una investigación

Los procesos de investigación científica generalmente se desarrollan al calor de grupos en universidades, centros de investigación no universitarios, u otras instituciones y colectivos, en los ámbitos público y privado, que asumen la generación de conocimiento entre sus funciones sustantivas. En el ámbito universitario - un *locus* fundamental en la investigación científica a nivel global - los procesos investigativos tienen lugar en grupos de investigación, los cuales integran a académicos y académicas, a personal de apoyo diverso, y a estudiantes que cursan programas de grado y posgrado y que requieren, para la obtención de su título, elaborar una tesis basada en una investigación.

Un proceso de investigación científica se inicia por el planteamiento de una pregunta alrededor de un tema que, por razones variadas, interesa a la persona o al grupo que ejecuta el proyecto. La generación de esta pregunta o tema se ubica en el área

de especialidad del grupo, o puede surgir *de novo* a partir de una nueva área en la que el grupo, o algunos de sus integrantes, desean ingresar. Con frecuencia la pregunta que se plantea se ubica en una secuencia lógica de trabajo que lleva el grupo, es decir, es un corolario de procesos previos de generación de conocimiento que abren espacio para esa nueva pregunta. Con frecuencia, quienes desarrollan sus tesis en el contexto de los grupos de trabajo asumen temas que el mismo grupo, o sus profesores tutores, les plantean, por tener ellos un conocimiento mayor del área de estudio correspondiente. Excepcionalmente, no obstante, es la iniciativa de algún estudiante la que genera la pregunta.

¿Cuáles son las razones por las que un grupo de investigación selecciona un determinado tema? Puede ser que el tema se decante como parte de la continuidad del trabajo del grupo; es decir, que el tema siga una línea de trabajo previo. Pero también cabe la posibilidad de que aparezca un tópico nuevo, emergente, que sea asumido como parte de la evolución del grupo. Este nuevo tema puede derivarse del interés de alguno de los miembros del grupo producto de la lectura, contacto con colegas, o porque el tema tenga relevancia académica, económica, social o política en el contexto del grupo. También la selección de los temas puede depender de las fuentes de financiamiento existentes, que priorizan determinados tópicos y ofrecen apoyo para el desarrollo de proyectos; o bien puede surgir por una cooperación con un grupo de otro país que tenga interés en ese tema e invite al grupo nacional a participar en un proyecto.

4.3 La selección de una pregunta pertinente

Cualquiera que sea la razón por la que un grupo, o una persona, seleccionan un tema, el paso siguiente, y esencial, es la formulación de la pregunta que guiará la investigación. Esta pregunta debe centrarse en un aspecto específico del tema (cuán específico depende de la magnitud, recursos y expectativas del proyecto). Puede tratarse de una pregunta muy puntual, a ser resuelta por ejemplo en una tesis, o bien puede elaborarse una pregunta más amplia, que pueda involucrar varias preguntas en un contexto unificado e, incluso, que requiera trabajo inter-disciplinario.

Para que una pregunta de investigación tenga pertinencia y relevancia, quienes elaboran el proyecto deben tener un conocimiento detallado y actualizado del estado del arte en ese campo particular del conocimiento. Para lograr esto, se recurre a las bases de datos donde se reúnen las publicaciones científicas en revistas especializadas, las cuales permiten un conocimiento del tema en cuestión. Pero también se puede recurrir a otras fuentes de información, dependiendo de la disciplina y la temática de que se trate. Estas incluyen anuarios, fuentes históricas primarias y secundarias, *proceedings* de congresos, publicaciones de diverso tipo, conversaciones con colegas, conocimiento suministrado por personas y sectores en comunidades, instituciones, grupos diversos, y otros tipos de fuentes que permitan aportar a ese estado del arte y servir de base para la formulación de preguntas relevantes.

La construcción de una pregunta de investigación es un acto creativo. En el proceso que lleva a esta construcción surge un constructo nuevo, algo que no existía antes, una forma diferente y novedosa de ver un aspecto de la realidad. El acto creativo en ciencia conlleva la gestación de una idea a partir de elementos previos que, en apariencia, pueden parecer dispares. Es en la conjunción de esos elementos o conceptos dispares donde se pone de manifiesto una de las facetas más creativas de la investigación científica. Cuán creativa sea la idea que fundamenta la pregunta de un proyecto es algo que varía dependiendo de la complejidad y la ambición que se tenga. Pero la construcción de esa pregunta siempre debe tener ese componente creativo. Es ese uno de los aspectos más estimulantes y retadores a los que se enfrentan quienes hacen investigación científica.

La relevancia y pertinencia de una pregunta puede juzgarse por lo novedoso de la misma en el contexto del conocimiento en un determinado tema. Hay preguntas que, teniendo un componente creativo, presentan una limitada originalidad conceptual o metodológica. Cabe la posibilidad de que aún una pregunta de este tipo tenga pertinencia en un contexto determinado de la sociedad y en el devenir de una disciplina científica, y tenga validez para un proyecto de investigación. En contraste, hay proyectos que plantean una pregunta que conlleva aspectos innovadores en su concepción o ejecución y que puede proveer aportes realmente novedosos a esa rama del conocimiento. La pregunta puede tener un trasfondo principalmente cognoscitivo (algo típico de la llamada 'ciencia fundamental'), o puede tener una finalidad mucho más aplicada, dirigida a comprender un problema de impacto inmediato en las esferas económica, de salud o social. Es conveniente que la construcción de la pregunta se efectúe mediante un proceso colectivo, en el grupo de investigación, o mediante un proceso dialógico entre tutor y estudiante, en el caso de tesis, de manera que haya un ejercicio de pensamiento crítico y reflexivo en este proceso, que no sea un evento casual o realizado a la ligera para salir del paso.

La complejidad y extensión de una pregunta de investigación depende de varios factores, tales como los recursos materiales y humanos para realizar el estudio, incluyendo las posibilidades de financiamiento y el alcance que dichos recursos permitan al proyecto. No es lo mismo desarrollar una propuesta para la que se van a solicitar 500.000 colones que una para la que existe la posibilidad de acceder a 50 millones de colones. La complejidad de los fenómenos de la realidad que se van a estudiar exige con frecuencia la necesidad de integrar equipos inter- y transdisciplinarios para abordar un tema determinado. Ciertamente se continúan realizando investigaciones disciplinares, o sea en el contexto de una disciplina científica particular, lo cual puede generar proyectos de gran valía. Pero en la actualidad se recurre, cada vez más, a los proyectos de carácter inter- y transdisciplinarios, los cuales permiten abordar temas de mayor complejidad y relevancia. Este tipo de proyectos demanda la capacidad, al interior del grupo, de generar interlocución académica creativa y respetuosa entre personas con diferente formación y especialidad.

La pregunta debe tomar en cuenta los recursos de equipo de laboratorio y servicios que se tienen para hacer la investigación, así como la factibilidad de contar con

los elementos que se va a estudiar. Se debe guardar un balance entre la ambición y el realismo a la hora de plantear la pregunta. Por ejemplo, si el proyecto se centra en el análisis y estudio de materiales cuya obtención no está asegurada, esto abre un espacio de riesgo que debe ser considerado. En el caso de un proyecto de tesis, su magnitud y ambición deben guardar una clara relación con el nivel de la propuesta. No es lo mismo lo que se deba plantear para un proyecto de tesis de licenciatura que para uno de maestría, o de doctorado. Con frecuencia, se presenta el problema de plantear la pregunta de una tesis de manera desproporcionada; ya sea excediendo a los requisitos para un determinado grado, o bien sin el suficiente peso para el título al que se aspira. Esta es una responsabilidad que debe recaer en la persona tutora que guía la investigación (Capítulo 11).

Generalmente, cuando se elaboran propuestas de investigación o proyectos de tesis, se empieza por plantear los antecedentes del tema, que constituyen la descripción del estado del arte en ese tema particular. Esa descripción o marco teórico general debe plantearse de manera que transcurra de lo general a lo particular. Es decir, se inicia con la presentación del tema macro en el que se inscribe la propuesta, y luego se va desarrollando dicho tema hasta llegar a los aspectos específicos de la revisión de la literatura que guardan una relación más estrecha con el proyecto que se piensa desarrollar. Estos antecedentes concluyen en la puerta misma de la presentación de la pregunta u objetivo general del proyecto, son su antesala.

A partir de ahí, se formula el tema de la investigación, es decir la pregunta del estudio, la cual generalmente, aunque no siempre, puede traducirse en una hipótesis. Una vez definida la pregunta, que sería el objetivo central de la investigación, es posible desgranar lo que serían los objetivos secundarios, que son los aspectos más particulares en los que se desdobra la pregunta u objetivo central. Ellos deben estar debidamente integrados alrededor de la pregunta central. El ejercicio de elaborar la pregunta, la hipótesis y los objetivos debe preceder a la construcción de la plataforma metodológica con la que se abordará el estudio. Los métodos deben ir a la cola de las preguntas u objetivos, no al revés. En algunas ramas de las ciencias es común que las hipótesis se formulen en términos matemáticos.

4.4 Diseño de la metodología para abordar las preguntas

Una vez elaborada la pregunta central de una investigación, expresada en objetivos principal y secundarios, se debe escoger la plataforma metodológica. Para ello, se debe estar al día en las técnicas y métodos pertinentes para contestar las preguntas y tener claro cuáles son las posibilidades de implementar dichas metodologías en el grupo de investigación. En ocasiones, el proyecto plantea la necesidad de adquirir nuevos recursos, como parte del presupuesto solicitado. Otra posibilidad es establecer contactos con grupos de otras instituciones en el país, o de otros países, que tengan esos recursos y que estén dispuestos a compartirlos para el desarrollo del proyecto.

La selección de los métodos para desarrollar una investigación debe centrarse en la respuesta a las preguntas del proyecto; las ideas deben señalar las metodologías y no al contrario. Esto es importante de considerar porque, en ocasiones, la fascinación por el uso de ciertas tecnologías que pueden estar de moda o parecer muy sofisticadas hace que se pretenda incluirlas en el proyecto sin que sean necesarias para responder lo que se quiere estudiar. Puede ser que una pregunta de relevancia se conteste con tecnologías y métodos simples, en cuyo caso esos serían los que hay que emplear. Por otra parte, en ocasiones es indispensable recurrir a métodos complejos y sofisticados. Eso depende de cada proyecto. Lo importante es que la metodología propuesta debe ser capaz de responder la pregunta, o preguntas, del proyecto y de determinar si la hipótesis planteada es verificada por los hallazgos o no.

A la hora de elaborar un proyecto, la metodología debe describirse de forma detallada y clara, de manera que pueda ser valorada por quienes evalúen la propuesta (Capítulo 5). Cuando un método ha sido previamente descrito en la literatura y se va a implementar como tal, es suficiente con colocar las referencias bibliográficas correspondientes, con una breve descripción del procedimiento en el texto. Cuando se trata de un método novedoso, o que cambia de manera significativa un método anterior, la descripción del mismo debe hacerse de una forma más detallada.

Cuando se desarrolla investigación cuantitativa, un aspecto clave a tener en cuenta es la descripción de las pruebas estadísticas que se emplearán para demostrar si existen diferencias significativas entre grupos experimentales u observacionales, así como para establecer el tamaño de las muestras e estudiar, de manera que tengan el grado de robustez y significancia requeridos. Por ello es relevante que los grupos de investigación cuenten con personas con buena formación en estadística, o recurran a este tipo de especialistas.

4.5 El desarrollo de la investigación

La elaboración de una pregunta relevante y pertinente, sumada a un buen diseño metodológico, constituyen las bases sobre las que se desarrolla una buena investigación científica. Sin embargo, la forma como la misma evolucione en los procesos de observación y experimentación resultan fundamentales para el éxito del proyecto. En ese sentido, el desarrollo de una investigación debe realizarse con planificación y sistematización, y con procesos de discusión, evaluación y análisis permanentes a lo largo de su recorrido.

Los diseños y resultados de experimentos o de procesos observacionales en el laboratorio, en la comunidad o en el medio natural, deben quedar bien reflejados y documentados, lo mismo que la implementación real de los procesos. La descripción meticulosa y ordenada de lo que se hace, y los comentarios y análisis que dicha praxis provoca, deben ser documentados desde el inicio (Capítulo 9). Este es el valor de los “cuadernos” de laboratorio o de notas de campo. El desarrollo de investigaciones experimentales también involucra la calibración y documentación de los equipos de laboratorio empleados en el proyecto. La rigurosidad a la hora de hacer experimentos u

observaciones, y la debida constatación de esa rigurosidad, son elementos fundamentales de una buena investigación.

Debido al carácter creativo de la investigación y a la complejidad de la realidad que se estudia, esta misma puede ofrecer resultados inesperados a lo largo del proceso. Quienes investigan deben estar atentos a esas situaciones, de manera que los aspectos contingentes que surjan sirvan para reformular elementos del proyecto, ya sea incorporando nuevas observaciones o, incluso, abriendo nuevas preguntas en el marco de la pregunta general. La misma realidad que se estudia puede conducir “la nave de la investigación” por rumbos no pensados en el momento de iniciar el viaje. Se debe tener una actitud abierta ante esta posibilidad.

Un elemento clave en el desarrollo de una investigación, es el análisis continuo del proceso. Idealmente esto se debe realizar colectivamente, esto es, dentro de los grupos de investigación. Una de las formas más eficaces de realizar estos análisis son las reuniones de grupo, en las que cada miembro expone el trabajo que ha realizado, el que es evaluado por todos los integrantes (Fig.4.1). En ese contexto, el proyecto se nutre de visiones diversas que abren espacios a la interpretación de los resultados y de sugerencias para nuevas observaciones y experimentos. En ocasiones, este proceso de reflexión crítica sobre lo que se ha logrado es realizado mediante reuniones periódicas entre estudiantes y tutores.



Figura 4.1: El análisis continuo del proceso de investigación en entornos colectivos es un elemento clave en el desarrollo de un proyecto, que puede realizarse mediante reuniones periódicas del equipo de trabajo. Imagen: grupo de investigación, tomada de la página web del *Satellite Networks Research Laboratory* (SATLAB), de la Universidad del Bósforo, Turquía.

A lo largo de la investigación, el caudal de resultados que surgen, aparejado al análisis e interpretación de los mismos, generan respuestas parciales a las preguntas del proyecto. Estas respuestas pueden ser suficientemente completas como para ameritar la comunicación de esos resultados parciales en una publicación (Capítulo 6); o bien pueden no ser lo suficientemente completas y, por lo tanto, generen la necesidad de continuar realizando experimentos u observaciones de campo con el fin de llegar a respuestas más elaboradas a los temas tratados. En ocasiones, aunque se haya generado una respuesta suficientemente clara, es mejor esperar a la recolección de más información para construir un trabajo sólido y completo. Son los entornos colectivos los que permiten encontrar las mejores soluciones a estos dilemas. La respuesta a la pregunta de ¿cuándo se tiene un *corpus* de información suficiente y análisis que ameriten una comunicación científica? es algo que se adquiere mediante procesos de reflexión y experiencia, de manera que no se precipite la comunicación de un resultado inmaduro, pero al mismo tiempo no se demore la publicación de algo que merece ser comunicado.

4.6 La construcción de teoría a partir de la información obtenida

Un aspecto central de la investigación científica es que la misma va más allá de la simple recolección sistemática de información. La información es fundamental para contestar las preguntas del proyecto y para corroborar o refutar la hipótesis planteada. Pero la investigación científica involucra la construcción de teorías alrededor de la información obtenida de la realidad natural o social. En este sentido, la construcción de esa elaboración teórica es otro momento creativo de la investigación. Dicha construcción involucra la capacidad de unir elementos aparentemente inconexos surgidos a partir de la observación y la experimentación, y ligarlos con el conocimiento previo en el campo, en el marco de los paradigmas existentes. En esa interfase entre lo que se conoce y lo nuevo, entre los hallazgos previos y los actuales, entre lo que se propuso y lo que se obtuvo, surge la chispa creadora de una nueva idea, de una síntesis, de una propuesta que aporta algo novedoso en el estudio de la realidad. Nuevamente, estos espacios de síntesis creativas florecen con mayor lucidez en entornos colectivos, en los que el aporte de varias personas enriquece el proceso. La dimensión conceptual de dichos esfuerzos creativos es muy variada; puede tratarse de una idea nueva de alcances limitados, o bien puede tratarse de un concepto que altere algún paradigma de un campo de la ciencia particular.

Es importante reafirmar que la creatividad es un componente central del proceso de investigación científica. Aparece al inicio de un estudio, para generar una pregunta novedosa y pertinente; se hace presente en el proceso de observación o experimentación; y tiene una expresión muy grande a la hora de interpretar los resultados y generar conceptos unificadores que los integren. Por otra parte, ese componente creativo está supeditado a la información que se obtenga de la misma realidad que se estudia, la cual corrobora o refuta los conceptos o las hipótesis planteados. Es el ejercicio permanente de la verificabilidad de los conceptos teóricos lo que constituye la esencia de la investigación científica.

Un aspecto fundamental de la investigación, en su continuo desarrollo, es que las conclusiones teóricas a las que se llega en un determinado proyecto, sirven para volver a analizar aspectos diversos de las disciplinas y plantear avenidas futuras que demandan nueva investigación. Se dice que las conclusiones de un proyecto con frecuencia generan más preguntas que respuestas; ellas alimentan el devenir de las disciplinas científicas y brindan elementos para el planteamiento de nuevas preguntas. Por esa razón, una investigación nunca concluye, pues siempre abre perspectivas para nuevos estudios.

4.7 La socialización de los resultados

La investigación científica* es un fenómeno cultural que surge en contextos sociales e institucionales particulares, y que tiene implicaciones en diversos aspectos de la actividad humana. Ello hace que la praxis de la ciencia esté íntimamente enraizada en las sociedades donde esta praxis ocurre. La ciencia impacta profundamente, y de diversas formas, los entornos donde se desarrolla y, a la vez, se nutre y es influida por esos mismos entornos.

Lo anterior implica que los resultados y alcances de la investigación científica son compartidos de diversas formas en esos entornos de las sociedades. La forma más clásica de socialización de los resultados de las investigaciones son las comunicaciones en revistas especializadas de las disciplinas correspondientes. Desde hace varios siglos, estas revistas, *journals* o *proceedings* recogen, de manera sistemática y regular, los aportes de los grupos de investigación. Hay un amplio universo de revistas especializadas y enormes bases de datos que brindan información sobre sus contenidos (Capítulo 10). Cuando un grupo de investigación, o una persona que realiza investigación de manera individual, considera que, como producto de su trabajo en un proyecto, tiene información lo suficientemente valiosa como para justificar su comunicación, escribe un artículo en formatos convencionales y presenta los resultados de su trabajo y la discusión de los mismos.

Existen otras formas de socializar los resultados de las investigaciones. Una de las más comunes es la presentación oral o en forma de *posters* en congresos científicos, en los que participan especialistas y estudiantes de una determinada disciplina, quienes comparten los avances de sus trabajos (Capítulo 7). Estos son escenarios de gran intercambio y socialización, que permiten no solo comunicar resultados sino también establecer nuevas colaboraciones y discutir abiertamente los avances de un determinado campo de estudio.

Finalmente, precisamente por el fuerte impacto que tiene la ciencia en las sociedades, los procesos de socialización y comunicación de resultados de la investigación se desarrollan también en entornos comunicativos más amplios, como revistas generales, periódicos, noticieros de radio y televisión, reportajes y toda la gama de medios de comunicación digitales, incluyendo redes sociales diversas.

* Sobre el método científico, se recomienda la lectura del libro de Mario Bunge (1978).

Capítulo 5

La elaboración de propuestas de investigación

Edgardo Moreno

5.1 Introducción

Uno de los sucesos que tiene que enfrentar un estudiante o un científico que quiera realizar una investigación en el contexto formal de la academia o de una institución, es escribir propuestas o proyectos. En términos generales, las propuestas se elaboran con los siguientes propósitos:

- Presentar un anteproyecto como requisito para hacer un trabajo de graduación o tesis
- Conseguir fondos para realizar la investigación que se desea
- Aplicar para pasantía de estudios, de entrenamiento o de licencia sabática

Toda propuesta científica es evaluada por expertos y legos en la materia. Una propuesta es una acción dirigida a personas de carne y hueso, a quienes hay que convencer. Por tanto, debe ser escrita con el propósito de persuadir. Dependiendo del tipo de propuesta, esta varía en su estructura y en su forma. Sin embargo, todas tienen una organización común y reglas particulares que se deben cumplir. Los principales factores para lograr la aprobación de una propuesta se pueden resumir de la siguiente manera:

- Tener las ideas claras de lo que se quiere proponer
- Estimar el tipo de resultados que se desean
- Seguir las reglas de la agencia a la cual va dirigida la propuesta
- Obtener todos los permisos y documentos que se solicitan
- Redactar de forma correcta, clara, precisa y concisa
- Nunca mentir ni exagerar
- Comportarse con rectitud y honradez durante el proceso
- Presentar la propuesta en el tiempo estipulado

En algunos casos las propuestas pueden ser cortas, de una a cinco páginas. Un ejemplo son las solicitudes para obtener fondos para una pasantía o una licencia sabática. En otros casos son de tamaño medio, como las propuestas que dan fondos modestos para investigación, o los anteproyectos para realizar una investigación dentro del contexto de un programa de grado o posgrado; estas normalmente no tienen más de 20 páginas. Algunas son largas e intrincadas, con decenas de páginas; como las que

solicitan cantidades importantes de fondos para hacer investigaciones por varios años y en las que intervienen diferentes grupos de científicos.

Independientemente de la propuesta que se trate, hay que saber por qué se desea presentar una propuesta y cuáles son los requisitos. Aunque esto parece obvio, no lo es. Muchas propuestas fallan y son rechazadas cuando no se exponen las intenciones de forma clara. Hay que preguntarse ¿Qué se solicita y para qué?

Un ejemplo que sirve como introducción, es la solicitud de fondos para una pasantía en el exterior, algo que es común entre los estudiantes de posgrado y profesores. No se puede solo enviar un correo electrónico pidiendo el dinero a una oficina y pretender que se apruebe en tiempo récord. Por lo general hay que llenar un formulario o escribir una propuesta que incluya: (a) el nombre y la información del instituto al que se quiere asistir; (b) probar que ese instituto existe y es relevante; (c) las razones que por las cuales se desea asistir a ese instituto particular; (d) qué tipo de actividades se desarrollarán durante la pasantía (investigación, enseñanza, giras, etc.); (e) adjuntar un resumen del trabajo que se pretende realizar; (f) presentar la carta de aceptación de instituto receptor y los permisos respectivos; (g) incluir las fechas precisas del viaje, el itinerario, el lugar y desglosar los gastos; (h) indicar los beneficios que se obtendrán de la visita; (i) adjuntar los documentos necesarios como el programa y las boletas de los costes (proformas de boletos de avión, tren, autobús, hotel, viáticos, inscripciones, etc.); (j) detallar si existe subvención complementaria. Además, hay que identificar a la oficina pertinente para solicitar los fondos, solicitar las instrucciones y consultar si existe un formulario para hacer la solicitud con suficiente tiempo. La prisa es un mal consejero para escribir una propuesta.

Es evidente que una solicitud sencilla, como la de obtener fondos para una pasantía, tiene un número importante de exigencias que hay que cumplir. Si falta alguno de estos requisitos, o no se identifica correctamente la oficina o institución a la que se debe hacer la solicitud, la propuesta puede fracasar. Como es de esperar, este proceso es más elaborado e intrincado en el caso de un anteproyecto para un trabajo de graduación o una propuesta para realizar una investigación científica. En esos casos hay que seguir los procedimientos y desarrollar pericia. A continuación, veremos algunos de los requisitos y estrategias a seguir.

5.2 Tener la pregunta clara, la que debe ser de relevancia científica

Como se mencionó (Cap.4), cualquier tipo de investigación debe partir de una pregunta. Esto implica que no se debe abordar la escritura de una propuesta sin antes tener definida la pregunta que se quiere responder. Hacer una pregunta es parte del método científico (Cap.4) ya que conduce a descubrir o a comprender algún fenómeno natural. Una pregunta científica debe tener la posibilidad de una respuesta real, poder ser sometida a experimentación u observación y conducir a una hipótesis falsable; es decir, que puede ponerse a prueba y ser desmentida por los hechos.

No todas las preguntas son válidas para la ciencia. Ellas, además de ser precisas y relevantes, deben ser posibles de responder dentro del contexto natural. Las ocurrencias, las preguntas triviales, las supersticiosas o las 'imposibles' de contestar en un contexto dado, denotan deficiencias cognitivas y de formación. Hay que leer e informarse con anterioridad sobre el tema que se desea proponer y apoyarse en los expertos. Lograr el conocimiento necesario para hacer preguntas pertinentes en un área específica de la ciencia, requiere de experiencia, la que solo se obtiene durante años de lectura y de trabajo.

En el caso de estudiantes de grado, maestría o doctorado, que inician su actividad como investigadores, es conveniente que el profesor tutor (el que debe saber seleccionarse; Cap.8 y Cap. 11) proporcione al estudiante la guía para buscar y leer las referencias pertinentes para la elaboración de la pregunta de investigación. Una vez hecho esto, existen tres alternativas: (a) que el estudiante haga la pregunta; (b) que el tutor plantee la pregunta; (c) que ambos trabajen conjuntamente para hacer la pregunta.

La primera alternativa casi nunca es viable y raramente ocurre; en particular cuando un estudiante trabaja dentro de un grupo de investigación consolidado o con un profesor experto en el tema. En el caso de un estudiante de grado o de maestría, casi siempre es el tutor quien 'lleva la batuta' y establece la pregunta central, ya que es inusual que el estudiante tenga la experiencia para ello. Cuando se trata de estudiantes de doctorado, lo más conveniente es que el profesor trabaje conjuntamente con el estudiante para hacer la pregunta. Incluso los posdoctorandos, quienes trabajan bajo la dirección de un científico consolidado, deben ajustarse al tema que se investiga en el grupo y hacer las preguntas en conjunto con el investigador que lo lidera. En todos los casos la pregunta debe llenar tanto las expectativas del estudiante como las del profesor.

De lo anterior se deriva que una pregunta para una propuesta más elaborada, dirigida a obtener fondos para investigación, requiere del concurso de por lo menos un científico que domine el tema. Aún en esos casos, es necesario estar al tanto sobre los últimos avances y hacer las consultas necesarias con los colegas; es decir, discutir la pertinencia y relevancia de las preguntas. Hay que recordar que la ciencia es una actividad social que se realiza en colaboración con otras personas.

Un problema común en los países de bajos o medianos ingresos, cuya masa crítica de investigadores es modesta y la redundancia de científicos es reducida, son las preguntas del tipo '*me too science*'. Esta es una expresión peyorativa para indicar que son preguntas que ya se respondieron, que tienen poca originalidad, o cuya respuesta es obvia. Hay que distinguir entre importancia y pertinencia científica, lo que no es fácil; es decir, hay preguntas relevantes, de baja o nula pertinencia científica. Veamos los siguientes ejemplos de preguntas:

- ¿Cuántos perros hay en la ciudad de San José?
- ¿Cuál es el sexo de los perros callejeros en la ciudad de San José?
- ¿Cuál es la prevalencia por rango y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en la ciudad de San José?

- ¿Cuál es la prevalencia por rango y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en las principales capitales de América Latina?

La primera pregunta podría ser importante para un Ministerio que necesita la información para tomar decisiones, pero tiene poca o ninguna relevancia científica, en términos de aportes al conocimiento. La segunda pregunta, aunque es más específica y proporciona más información, aún carece de pertinencia científica. Por otro lado, la tercera pregunta, está incluida dentro de un contexto específico de salud animal que requiere un diseño epidemiológico elaborado, por lo que parecería tener mayor pertinencia científica, aunque permanece en un ámbito local restringido. Por último, la cuarta pregunta parece tener todos los ingredientes necesarios, debido a la complejidad de trasladar esa investigación a un contexto global, lo que implica un diseño epidemiológico mucho más elaborado que incluye tomar en cuenta la idiosincrasia de los diferentes países. De ese modo, la 'línea' que separa una pregunta con pertinencia científica de otra que no la tiene, puede ser muy delgada y no siempre es fácil distinguir las.

Otro problema son las preguntas inverosímiles para el contexto, imposibles de resolver, o de moda. Preguntas como: ¿qué hay dentro de un hueco negro?; ¿cómo se almacena la memoria en las neuronas?; ¿qué es la materia oscura?; son ciertamente importantísimas y han desafiado las mentes más brillantes y los equipos de investigadores con grandes recursos, pero son preguntas (por el momento) 'imposibles' de resolver. Estas raramente se abordan y se plantean de esta manera en una propuesta. En otras ocasiones los investigadores jóvenes (y no tan jóvenes) suponen que las técnicas novedosas y de moda, como proteómica, genómica o transcriptómica, son suficientes. Una pregunta como: ¿cuál es el proteoma de *Vibrio neptunius*, es trivial científicamente. La recolección de información por sí sola es valiosa, pero no es ciencia propiamente (proto-ciencia). Es lo que se ha llamado 'naturalismo molecular', el equivalente al naturalismo botánico de los siglos XVIII y XIX. Para que la información se convierta en ciencia debe de algún modo ser traducida y cumplir un propósito mecanístico o cuantitativo en un contexto más amplio. Así la pregunta: ¿Puede el proteoma de *Vibrio neptunius* revelarnos el tipo de metabolismo intermedio que realiza esta bacteria en los estuarios marinos?, usa exactamente las mismas técnicas, pero con la intención de revelar la naturaleza y modo de vida de esa rara bacteria.

Antes de preguntar, es importante conocer el contexto y las limitaciones en las que se desarrollará la investigación. La pregunta puede ser interesante y pertinente científicamente; sin embargo, si no se tienen las condiciones y la preparación para responderla, lo más probable es que la propuesta sea rechazada, ya que las posibilidades de éxito son bajas.

Las propuestas científicas deben estar dirigidas a obtener 'ayuda' para cumplir los objetivos relacionados con el interés y la actividad del investigador. Hay que evitar proyectos con el único objetivo de obtener beneficio económico, sin importar la pregunta científica. El oportunismo en la ciencia es mal visto. Aplicar a un proyecto simplemente aprovechando la oportunidad, sin tener interés en el tema, es cuestionable

éticamente, es una pérdida de tiempo y compite con grupos a los que honestamente les interesa el tema. Del mismo modo, escribir y participar en un anteproyecto de graduación que no despierte el interés del estudiante, solo por ser un requisito, es poco apropiado y cuestionable, y raramente tiene éxito.

5.3 El arte de escribir una propuesta de investigación

Una vez que se tiene clara la pregunta científica, esta puede traducirse en el título, la hipótesis, los objetivos, el diseño, la estrategia, los resultados esperados, el tiempo que llevará responderla y la interpretación de los resultados esperados. Todos esos elementos que se derivan de la pregunta principal, deben redactarse de una manera sencilla, ordenada y coherente en lo que llamamos una 'propuesta de investigación'. Hay tres máximas que deben entenderse al respecto:

- Escribir una propuesta de investigación es un arte diferente al de escribir un artículo científico
- El arte de escribir bien una propuesta no convierte a la ciencia mediocre en buena ciencia; pero una propuesta mal presentada frecuentemente mantiene a la buena ciencia desfinanciada
- Escribir bien no salva a las malas ideas, pero escribir mal mata a las buenas

Además, toda propuesta de investigación debe:

- Procurar un balance entre un estilo simple, claro y sobrio
- Considerar el uso de esquemas que faciliten la lectura (una imagen dice más que mil palabras)
- Una propuesta escrita torpemente se interpreta que la escribió un científico torpe
- Debe ser precisa, concisa, completa, y no redundante
- Evitar en la medida de lo posible el uso de jerga científica
- Asumir que se escribe para alguien relacionado en el área, pero no especialista
- Conservar el mismo tipo de letra y estilo sobrio
- Resaltar con negrita o subrayar los aspectos más relevantes, sin excederse
- Dársela a los colegas para que la revisen
- Revisar, revisar, revisar y revisar

Dependiendo del tipo de propuesta, algunas instituciones piden más información y otras menos, por lo que la 'regla de oro' es solicitar los formularios y los requisitos con antelación y seguir al pie de la letra todas las instrucciones y recomendaciones que ahí se indiquen o que haga la institución a la que se presentará la propuesta. En mi experiencia, cerca de la mitad de las propuestas son rechazadas *ad portas* por no seguir las instrucciones o por no presentar todos los requisitos. La obediencia es fundamental. Además, antes de empezar a escribir es recomendable proceder como sigue:

1. Pensar en la pregunta y en el proyecto con suficiente tiempo (ej. un año antes)
2. Leer cuidadosamente las instrucciones y los formularios

3. La propuesta debe estar de acuerdo con la misión de la agencia o institución
4. Contactar al oficial encargado de los proyectos
5. Determinar cuál es el monto promedio que financian
6. Contactar a personas que hayan recibido financiamiento de la agencia
7. Procurar una propuesta aprobada para usar como ejemplo
8. Empezar el proceso de escritura con suficiente tiempo (ej. un año antes)
9. Publicar los trabajos relacionados con el tema antes de presentar la propuesta
10. Tener resultados preliminares (entre el 15-25% de la investigación)
11. Investigar quiénes conforman el comité evaluador y los revisores
12. Buscar la bibliografía necesaria
13. Tener todos los permisos respectivos
14. Tener todos los acuerdos de colaboración
15. Tener un esquema sobre la división del trabajo

En algunos anteproyectos de investigación de maestría o doctorado, los puntos 1, 5, 6, y 9 casi nunca aplican. Mientras el punto 1 es parte del devenir de la carrera y del grado que se pretende, los otros puntos relacionados con la solicitud de fondos generalmente no se solicitan en este tipo de propuestas, aunque en algunas exigen que se desglose presupuesto. Finalmente, el punto 9, por lo común, no se incluye en un anteproyecto, ya que precisamente uno de los objetivos es generar las primeras publicaciones. Sin embargo, es importante aclarar que el tutor o director de tesis debe tener publicaciones en el campo y demostrar experiencia en el mismo, como se discute en los capítulos correspondientes (Cap.8 y Cap.11).

Los formularios y requisitos para presentar propuestas de investigación varían de una institución a otra. Algunos de ellos son tan intrincados (ej. NIH, NSF, INSERM) que muchas instituciones (ej. universidades e institutos de investigación) tienen oficinas especializadas para asistir en la elaboración de proyectos, en particular en los aspectos legales, éticos, económicos y administrativos. Otros son más sencillos (ej. IFS, TWAS, ICGEB, FEES-CONARE, anteproyectos de posgrado). Aun así, se necesita tiempo y esfuerzo considerable. Independientemente de lo intrincado de la propuesta, son los investigadores en última instancia quienes deben proponer las ideas y redactar el cuerpo de la misma. Los proyectos y propuestas de investigación siguen, en su mayoría, un protocolo más o menos estándar que se aplica y se reconoce dentro de la comunidad científica. Por lo general, una propuesta incluye los siguientes apartados:

- i) Página de información general
- ii) Título
- iii) Resumen
- iv) Cuerpo de la propuesta:
 - Introducción
 - Hipótesis
 - Resultados preliminares de los autores que apoyan la hipótesis
 - Objetivos
 - Justificación
 - Estrategia metodológica

- Resultados esperados
 - Productos
 - Posibles problemas y cómo solucionarlos
- v) Facilidades
 - vi) Descripción del consorcio y breve descripción del *expertise*.
 - vii) Condiciones éticas
 - viii) Cronograma
 - ix) Solicitud y justificación del presupuesto
 - x) Anexos

El orden puede variar dependiendo de la institución, pero el cuerpo de la propuesta es siempre el elemento central. En algunos casos, la hipótesis y los objetivos van junto con la introducción, en otros casos es la justificación la que se incluye como parte de la introducción, etc. En la práctica se redacta en un orden diferente al expuesto, tal y como se sugiere a continuación:

1. Hipótesis
2. Objetivos
3. Resultados preliminares
4. Resultados esperados y productos
5. Estrategia metodológica
6. Introducción
7. Justificación
8. Posibles problemas y cómo solucionarlos
9. Facilidades
10. Descripción del consorcio y breve descripción del *expertise*
11. Solicitud y justificación del presupuesto
12. Condiciones éticas
13. Cronograma
14. Resumen
15. Título
16. Anexos
17. Página de información general

Cada persona 'mata las pulgas de diferente manera', por lo que el orden puede cambiar de acuerdo con la experiencia. De manera independiente, este debe procurar aclarar las ideas conforme se redacta. Además, nada está escrito 'en piedra'. Mientras la propuesta se escribe, ella se puede modificar hasta lograr la unidad y la coherencia necesaria. El Título y el Resumen son prácticamente los últimos que se escriben, pues tienen que estar de acuerdo con los demás apartados. La Hipótesis, los Objetivos y la Estrategia metodológica deben formar una unidad coherente. Lo mismo ocurre con la Introducción y la Justificación, las que deben redactarse como una unidad, aunque sean secciones diferentes. En los siguientes párrafos se describen los apartados de acuerdo a como se presentan en una propuesta, tomando en cuenta que no es el mismo orden en el que se redacta.

Antes de escribir, siempre es útil conocer las razones frecuentes por las que se las propuestas son rechazadas:

- Propuestas que no están de acuerdo con los objetivos de la agencia
- Propuestas que van incompletas o excedidas
- Propuestas mal escritas y mal presentadas
- Propuestas poco realistas o imposibles
- Propuestas triviales (más de lo mismo)
- Propuestas con preguntas, hipótesis y objetivos ambiguos
- Revisiones bibliográficas poco críticas o irrelevantes
- Sin publicaciones previas relacionadas con el tema
- Sin resultados preliminares
- Poco tiempo para la investigación
- Propuestas fragmentadas, escritas por varias personas, sin unidad
- Propuestas con muy poco detalle o con exceso de detalle
- Un presupuesto no realista
- Un grupo no capacitado o sin facilidades para la investigación
- Falta de comprobación y cumplimiento de las condiciones éticas y legales

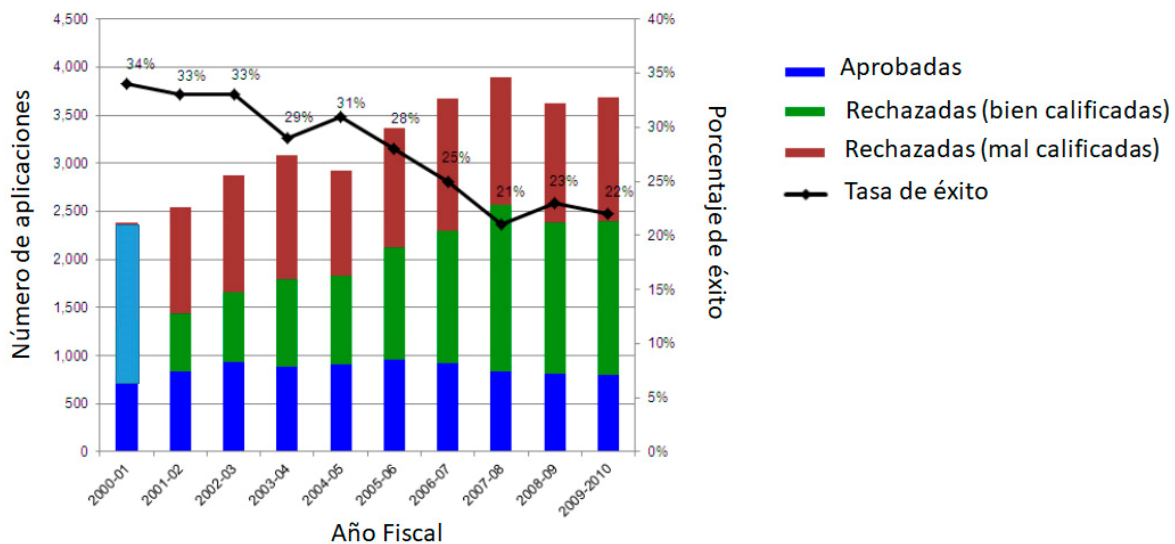


Figura 5.1. Proporción de propuestas de investigación aprobadas por el *Canadian Institutes of Health Research* del 2000-2010. Nótese que con los años la tasa de éxito de aprobación fue disminuyendo y que una proporción importante de propuestas bien calificadas (en verde) no llegaron a ser financiadas y fueron rechazadas (Fuente: <https://cihr-irsc.gc.ca/e/45846.html>, vista el 18/01/2020).

Debido a la competencia y prioridades que las agencias, países o instituciones dan a los temas, no es raro que propuestas bien escritas, científicamente relevantes y con equipos de investigación preparados, sean rechazadas (Fig.5.1). Solo una proporción pequeña de propuestas de investigación son aprobadas en su primera presentación, y entre más dinero dan las agencias más exigentes son las evaluaciones. Esto no debe

desalentar y hay que aprender de los errores. Por lo común, las agencias serias adjuntan las evaluaciones de los revisores e indican las razones por las que una propuesta fue rechazada. Otras, simplemente la rechazan sin proporcionar justificación. En este caso, hay que fijarse cuáles propuestas fueron aprobadas y buscar un factor común. Es frecuente que las propuestas que se rechazan la primera vez, sean aprobadas la segunda o tercera vez. Cada rechazo da la oportunidad de mejorar la propuesta, siempre y cuando se mantenga un espíritu autocrítico. En la página de la *International Foundation for Science*, hay una lista comprensiva y específica de las razones por las que generalmente las propuestas son rechazadas (<http://www.ifs.se/ifs-programme/how-to-apply.html>)

5.4 Página de información general

Con excepción de los anteproyectos de investigación de estudiantes de grado o posgrado, casi todos los formularios de las agencias u oficinas a las que se solicita dinero tienen una página de inicio, la que varía en complejidad. Las agencias que dan más fondos, son las que piden mayor detalle con formularios más complejos (ej. NIH, NSF, Unión Europea), mientras aquellas que otorgan montos más modestos (IFS, TWAS, ICGEB, universidades) poseen requisitos más sencillos. La información que se solicita en la primera página incluye el título del proyecto, junto con todos los atestados personales del coordinador (nombre, sexo, dirección física, correo, teléfono, nacionalidad, grado académico, posición laboral, etc.). Además, debe incluir el período de tiempo que cubre la solicitud, uso de animales, de seres humanos y de otros aspecto éticos y legales, así como el monto solicitado, oficina que administrará el dinero y la firma del responsable de la institución (ej. Decano, Rector, Presidente, Ministro, etc.). Hay algunas reglas básicas respecto a esta primera página que deben cumplirse al pie de letra:

- Deben llenarse todos los espacios pertinentes que apliquen
- Obtener con tiempo todas las firmas y sellos de la institución
- Obtener las cartas de apoyo de la propuesta respectivas
- Obtener las cartas de compromiso de los colaboradores
- Estar seguro de todas las leyes y requisitos del país donde se hace la solicitud
- No escribir más de la cuenta
- No mentir ni exagerar en ninguno de los apartados

Esta es la página que van a leer todos los evaluadores y la que más interesa a los administradores, pues ahí está la información esencial. Incluso, algunos proyectos tienen una página para cada participante. Muchos de los apartados requieren que los permisos y las cartas de compromiso se adjunten (en los Anexos). Por ejemplo, si se marca la casilla de 'uso de animales', de 'uso de humanos' y de otros asuntos éticos y legales, eso implica que deben adjuntarse los documentos que atestigüen que se tienen los permisos respectivos por parte de las autoridades nacionales (ej. ministerios, responsables de salud animal, salud humana o vida silvestre), del país al que pertenece cada investigador responsable del proyecto. Se deben incluir las certificaciones de las entidades que gestionarán los fondos de cada institución a los que pertenecen los investigadores (ej. fundaciones, oficina de presupuesto, universidad, etc.) y los montos

que cobran por la administración, lo que en la jerga administrativa se conoce como *overhead* (ver abajo). También se solicita una constancia firmada por todos los investigadores que certifique su compromiso para colaborar en el proyecto.

5.5 El Título

El título del proyecto cumple la misma función que el de una película, una obra de teatro o un libro: es la puerta de entrada para la aprobación o el rechazo. Si el título es confuso, poco específico, está mal redactado, es trivial, es demasiado general, es ambiguo, largo o poco original, la propuesta casi siempre es rechazada *ad portas*. A pesar de eso, el título de una propuesta es prácticamente lo último que se escribe.

No existen pautas estrictas sobre lo que debe decir un título de una propuesta de investigación. Una recomendación es que sea lo más corto posible (ej. un renglón y medio, cerca de 18 palabras,) manteniendo la claridad y la especificidad pertinente, algo que los revisores agradecen. Es conveniente que el título sugiera la pregunta y el objetivo general del trabajo, pero no es recomendable escribir el título como una interrogación. Así la pregunta: '¿Puede el proteoma de *Vibrio neptunius* revelarnos el tipo de metabolismo intermedio que realiza esta bacteria en los estuarios marinos?', podría replantearse de varias formas. Por ejemplo: 'Estudio del metabolismo intermedio de la bacteria marina *Vibrio neptunius* mediante proteómica en los estuarios tropicales'. Aunque este título tiene una longitud apropiada, es conveniente acortarlo y ponerlo en contexto: 'Estudio del metabolismo intermedio de *Vibrio neptunius* en los estuarios tropicales', sin que pierda claridad ni especificidad. En este sentido, no es necesario incluir que es una bacteria marina, ni tampoco la técnica que se va usar para entender el metabolismo de esa bacteria, ya que eso se revelará en la propuesta. Incluso 'en los estuarios tropicales' se podría omitir. De esa manera, la pregunta científica sirve como elemento central para redactar el título, el cual debe tener la especificidad para revelar las intenciones del trabajo. Un recurso es dividir el título en dos partes, usando dos puntos como separador. Por ejemplo:

- La vida intracelular de *Brucella abortus*: papel del sistema de secreción tipo IV
- La fisiopatología en el envenenamiento por *Bothrops asper*: el papel de la miotoxina II en el daño muscular
- La resistencia de *Pseudomonas aeruginosa* a los antibióticos: mecanismos y estrategias terapéuticas

Esta manera de redactar los títulos tiene la ventaja de que propone el tema general que se quiere abordar en la primera parte, mientras que la segunda sección proporciona la especificidad necesaria.

5.6 El Resumen

Escribir un buen resumen es uno de los aspectos más delicados y difíciles de una propuesta de investigación, ya que es difícil condensar las ideas en un texto corto. Para ello, hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- Después del Título, el Resumen es la sección más importante
- Es la ruta que se usa para que escoger a los evaluadores
- Tiene que ser entendido por expertos y no expertos
- Debe evitar la jerga científica en lo posible
- Tiene que ajustarse estrictamente al espacio
- Tiene que establecer la temática
- Tiene que describir el problema y las preguntas
- Debe sugerir la hipótesis
- Debe incluir el objetivo general
- Tiene que describir cómo se ajusta a la misión de la agencia
- Debe describir someramente la estrategia para resolver el problema
- Debe señalar por qué es importante y vale la pena apoyar la propuesta

El orden en que se proponen las últimas siete pautas puede variar, ya que el resumen debe adaptarse al estilo y a la sintaxis del texto. Después del título, los evaluadores leen el Resumen. Si este no es verosímil o está mal escrito, los revisores no van más allá y la propuesta es rechazada, sin más lectura. Es por eso, que el Resumen tiene que escribirse al final, para que se ajuste y sea un fiel reflejo de la propuesta. El resumen rara vez tiene una longitud mayor de 350 palabras y casi siempre incluye 250 palabras o menos. Aunque parece poco, este espacio es suficiente. Más que ninguna otra sección, el resumen debe redactarse con claridad, con una gramática correcta, una sintaxis apropiada y evitar la jerga científica en lo posible. Hay que tener presente que el resumen es leído tanto por expertos como por legos. Estos últimos son quienes aprueban los fondos y le dan trámite a la propuesta. Veamos un ejemplo de Resumen:

Título: *Antibióticos derivados de venenos de serpientes de Costa Rica.*

Resumen: *Los microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos son cada vez más frecuentes en el mundo. Por tanto, la búsqueda de nuevos antibióticos es de relevancia médica. En estudios anteriores, hemos demostrado que las miotoxinas (que dañan el músculo) del veneno de la serpiente "terciopelo" de Costa Rica, son capaces de matar a bacterias y a hongos que causan enfermedades. Esta acción antibiótica no depende de las propiedades enzimáticas de las miotoxinas y es reproducida por una molécula corta, de trece aminoácidos, derivada de la toxina completa, que no daña a las células de los animales. Esta pequeña molécula pertenece a una nueva generación de antibióticos con carga positiva, con el potencial de dañar a las membranas de los patógenos. Aquí, proponemos caracterizar la actividad antibiótica de diferentes toxinas del veneno de varias serpientes tropicales y derivar de ellas moléculas cortas que puedan reproducir la actividad antibiótica de manera eficiente. Este tipo de antibióticos no se acumulan en el medio ambiente y son fácilmente degradables. Además, nuestra propuesta intenta demostrar la utilidad que tiene la biodiversidad para descubrir nuevos productos para combatir enfermedades y pone de manifiesto, una vez más, la importancia práctica de preservar la vida silvestre en los trópicos. (200 palabras)*

Este resumen (traducido del inglés) pertenece a una propuesta de investigación que fue presentada a la Fundación Anne Morrow Lindbergh. Dentro de los objetivos de esta fundación privada está 'apoyar proyectos innovadores, que tengan relevancia para el bienestar humano, animal y ambiental'. La fundación pertenece a filántropos que someten las propuestas a expertos para su evaluación. Aunque se apoyan en las opiniones de los evaluadores, son los dueños los que tienen la última palabra. Por tanto, la aceptación o rechazo de la propuesta depende de las opiniones tanto de expertos como de legos. El resumen contiene 200 palabras, escrito en punto y seguido (recomendado), que es lo que indican las instrucciones en este caso. Además, usa la primera persona del plural (que es mucho más 'cercano') y está escrito en un lenguaje coloquial, para ser entendido por expertos y legos. A continuación, se hace un análisis del contenido del resumen para mostrar que incluye todos los elementos pertinentes:

Importancia de la propuesta:	<i>Los microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos son cada vez más frecuentes en el mundo. Por tanto, la búsqueda de nuevos antibióticos es de relevancia médica.</i>
Estudios previos:	<i>En estudios anteriores, hemos demostrado que las miotoxinas (que dañan el músculo) del veneno de la serpiente "terciopelo" de Costa Rica, son capaces de matar a bacterias y a hongos que causan enfermedades. Esta acción antibiótica no depende de las propiedades enzimáticas de las miotoxinas y es reproducida por una molécula corta de trece aminoácidos derivada de la toxina completa, que no daña a las células de los animales.</i>
Esbozo de la hipótesis:	<i>Esta pequeña molécula pertenece a una nueva generación de antibióticos con carga positiva, con el potencial de dañar a las membranas de los patógenos.</i>
Objetivo y estrategia:	<i>Aquí, proponemos caracterizar la actividad antibiótica de diferentes toxinas del veneno de varias serpientes tropicales y derivar de ellas moléculas cortas que puedan reproducir la actividad antibiótica de manera eficiente.</i>
Ventajas comparativas y justificación de acuerdo con los objetivos de la agencia:	<i>Este tipo de antibióticos no se acumulan en el medio ambiente y son fácilmente degradables. Además, nuestra propuesta intenta demostrar la utilidad que tiene la biodiversidad para descubrir nuevos productos para combatir enfermedades y pone de manifiesto, una vez más, la importancia práctica de preservar la vida silvestre en los trópicos.</i>

Hay que tomar en cuenta las intenciones de la agencia, oficina o institución a la cual va dirigida la propuesta. Un truco es usar las mismas palabras claves que ellos emplean en las instrucciones tales como 'medio ambiente', 'conservación', 'salud', 'bienestar', etc., de tal manera que se ajuste a sus objetivos. Hay que obedecer las instrucciones (aunque a veces puedan parecer absurdas) y ajustarse al espacio. Para eso hay que tener presente las palabras del astrónomo y matemático francés Blaise Pascale (1623-1662) cuando le escribió una misiva a un amigo: 'Te escribo una carta larga porque no he tenido el tiempo para hacer una más corta'; demostrando así, que escribir un resumen tiene un alto grado de dificultad y que no es trivial.

5.7 Cuerpo de la propuesta: Introducción

Este apartado es lo que muchos llaman 'Estado del arte' o 'Revisión de literatura'. Independientemente del nombre, esta sección es una de las más extensas. A pesar de eso, debe ajustarse al espacio recomendado, el que raramente va más allá de 15 páginas. No se trata de hacer una revisión general exhaustiva, a manera de capítulo de un libro. Eso es trivial, pues es repetir lo que está en los textos y revela inexperiencia y falta de conocimiento específico. La Introducción debe relacionarse estrictamente con la pregunta científica, la hipótesis y los objetivos y escribirse de una forma didáctica, no enciclopédica. Por lo común, los revisores agradecen introducciones cortas y al grano. A continuación, se hacen unas recomendaciones:

- i) Escribir lo que se sabe, lo que no se sabe y lo que es esencial saber (las preguntas)
- ii) Dejar claro lo que se quiere investigar; es decir, la pregunta que se desea responder (no se puede responder todo)
- iii) Lograr un balance entre el riesgo y la seguridad. Aventurarse, pero no tanto
- iv) Sugerir la hipótesis en forma de prosa dentro del texto, sin hacerla explícita
- v) Plantear el objetivo general en forma de prosa, sin hacerlo explícito
- vi) Sugerir el tiempo que llevará cumplir el proyecto y la metodología
- vii) Incluir las referencias apropiadas: no exhaustivas, solo las importantes

Antes de escribir, es necesario hacer un esquema de cómo se redactará la propuesta y tener a mano toda la bibliografía pertinente. Este es el sitio para hacer la pregunta general y las específicas que se derivan de ella. Al final de la Introducción, es conveniente hacer un esbozo de la hipótesis y del objetivo general, de las intenciones y de la estrategia metodológica, de tal manera que el lector se percate de las intenciones de los proponentes. Por ejemplo, respecto a la pregunta: '¿Cuál es la prevalencia por edad y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en las principales capitales de América Latina?'; se puede concluir el párrafo de la Introducción de la siguiente manera:

...Todo lo anterior sugiere que, las infecciones por Ehrlichia canis en perros callejeros son frecuentes, por lo que en este proyecto nos proponemos investigar la prevalencia de esta bacteria en estos animales que deambulan libremente por las principales ciudades de América Latina. Nuestro propósito

es recolectar la información pertinente para en un futuro establecer las condiciones necesarias para el control de esta infección, la que puede afectar a otros animales, incluyendo a los humanos. Para las investigaciones de este proyecto se utilizarán herramientas epidemiológicas y análisis aleatorios, empleando técnicas de diagnóstico bacteriológicas, inmunoquímicas y moleculares. La totalidad del proyecto se ha planteado para tres años...

En cierta forma este último párrafo tiene elementos parecidos al resumen de un artículo científico, que se pueden analizar de la siguiente manera:

La evidencia experimental anterior:	<i>Todo lo anterior sugiere que...</i>
A esto sigue el esbozo de la hipótesis:	<i>...las infecciones por Ehrlichia canis en cánidos son frecuentes,...</i>
A continuación viene el objetivo general:	<i>...por lo que en este proyecto nos proponemos investigar la prevalencia de esta bacteria en estos animales que deambulan libremente por las principales ciudades de América Latina.</i>
Importancia y propósito de la propuesta:	<i>Nuestro propósito es recolectar la información pertinente para en un futuro establecer las condiciones necesarias para el control de esta infección, la que puede afectar a otros animales, incluyendo a los humanos.</i>
Esbozo sobre estrategia metodológica:	<i>Para las investigaciones de este proyecto se utilizarán herramientas epidemiológicas y análisis aleatorios, empleando técnicas de diagnóstico bacteriológicas, inmunoquímicas y moleculares.</i>
Sugerencia del tiempo:	<i>La totalidad del proyecto se ha planteado para tres años.</i>

De nuevo, hay que tener presente que la propuesta será leída por expertos y legos, por lo que la redacción debe ser clara, la sintaxis correcta y sin errores gramaticales. En la medida de lo posible hay que evitar el exceso de jerga científica, acrónimos, anglicismos y galicismos. Estos aburren a los lectores, quienes deben fijarse constantemente sobre su significado. Cuando no hay más remedio, estos tienen que definirse la primera vez que se citan en el texto. En algunos casos es conveniente hacer una lista de acrónimos, indicando su significado.

Es conveniente hacer esquemas que ayuden a ilustrar las ideas generales de lo que se está proponiendo. Los esquemas son un buen recurso didáctico que ayuda a los

revisores a seguir el curso del estado del arte del conocimiento en esa investigación en particular: Por ejemplo, dentro del proyecto: 'Efecto del Varespladib en la actividad catalítica de fosfolipasas representativas de los grupos I y II de venenos de serpientes'; se podría incluir el esquema mostrado en la Fig.5.2, que resume las ideas generales:

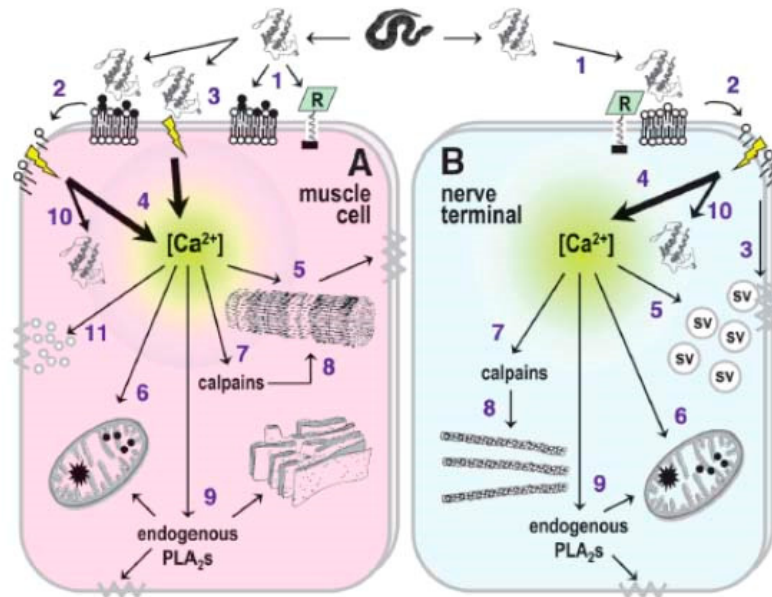


Figura 5.2: Representación esquemática del modo de acción de miotoxinas y neurotoxinas tipo fosfolipasa A₂ en células de músculo esquelético (A) y terminales nerviosas (B). El paso 1 en ambos paneles representa la unión de la toxina a la membrana de la célula, ya sea a receptores específicos o a dominios lipídicos. El paso 2 es la hidrólisis de los fosfolípidos de la membrana celular. En ambos casos hay perturbación de la membrana (paso 3). El daño estructural de la membrana celular la vuelve permeable a iones de calcio, incrementando la concentración citosólica de Ca²⁺ (paso 4). Esto induce la hipercontracción de miofilamentos (paso 5, panel izquierdo), causando daño mecánico a la membrana plasmática, y la exocitosis de vesículas sinápticas (paso 5, panel derecho). La concentración alta de Ca²⁺ induce el consumo de estos iones por parte de la mitocondria, resultando en el deterioro severo de sus funciones (paso 6). El paso 7 representa la activación de calpaínas dependientes de Ca²⁺, que degradan componentes del citoesqueleto (paso 8), afectando la integración mecánica de la célula. Las fosfolipasas A₂ citosólicas dependientes de Ca²⁺ se activan (paso 9), promoviendo más hidrólisis de las membranas intracelulares y plasmática. La disrupción de la membrana permite la entrada de más fosfolipasas A₂, que hidrolizan y dañan los sistemas de membranas intracelulares, hasta que son inactivadas por mecanismos aún desconocidos (tomado de Montecucco et al., 2008).

Como se muestra, en la figura se resume la acción de las miotoxinas y neurotoxinas tipo fosfolipasa A₂ de venenos de serpientes. Este diagrama, además de ser didáctico, ahorra espacio en el texto ya que condensa las ideas. Es recomendable incluir figuras comprensibles directamente relacionadas con el objeto de estudio.

En esta sección se deben incluir citas bibliográficas. Existen varias formas de hacerlo. Aunque referir con número es apropiado, en el caso de las propuestas es

recomendable citar con el nombre del primer autor y el año (ej. Messi *et al.*, 2016; Stalin *et al.*, 1936). Esto ayuda a los revisores a localizar rápidamente al grupo de investigación que se refiere (recordar que los revisores son expertos y que conocen la literatura). Del mismo modo, en la lista de referencias se recomienda la forma abreviada, ya que las completas ocupan mucho espacio. Las referencias abreviadas solo incluyen el nombre del primer autor, el año, volumen y la primera página; omitiendo el resto (ej. Ricardi JA, *et al.* J Immunol. 2019; 232: 54).

Algunas propuestas requieren palabras claves (*keywords*). En el caso de una propuesta, son las que identifican el contenido del proyecto. Por ejemplo, para la propuesta: 'Antibióticos derivados de venenos de serpientes de Costa Rica', las palabras clave podrían ser: *Bothrops asper*, *Crotalus durissus*, antibióticos, péptidos catiónicos, fosfolipasas, bacterias, hongos, Costa Rica... Por lo común se incluyen entre 5 y 10 palabras claves. Para identificarlas, ayuda pensar que, mediante la combinación de estas palabras, se podría llegar a encontrar la propuesta o las publicaciones derivadas del trabajo, en la Internet.

5.8 La Hipótesis

En términos generales, una hipótesis (del griego: *hipo*, 'subordinación' o 'por debajo' y *tesis*, 'conclusión que se mantiene con un razonamiento') es una suposición de algo que es posible (o en su defecto, imposible) de probar mediante un método. Existen diferentes definiciones de hipótesis dependiendo de las áreas del saber (ej. ciencia, matemáticas, estadística, lógica, filosofía etc.). Una hipótesis científica es una proposición sobre cómo funciona un aspecto de la naturaleza, la que se formula apoyada en información existente. La hipótesis necesariamente requiere ser contrastada mediante la experiencia. En términos prácticos, podemos decir que es una predicción provisional que debe verificarse o rechazarse mediante el método científico, la que se redacta de forma afirmativa. Las hipótesis por sí mismas no son verdaderas ni falsas. La veracidad o falsedad de las hipótesis científicas solo se comprueba mediante la experimentación y/o la observación.

En ciencia, siempre que se llega a una conclusión relacionada con los resultados de un experimento, los investigadores están obligados a establecer dos hipótesis, las que siempre son provisionales: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula (conocida como H_0) se refiere a la afirmación contraria a la que ha llegado el investigador. Es la hipótesis que los investigadores se proponen rechazar. Por el contrario, si existe suficiente evidencia experimental u observacional, se podrá probar que lo contrario es cierto. Por tanto, la hipótesis alternativa (conocida como H_1) es la conclusión a la que los investigadores han llegado a través de la experimentación, observación o ambos. Por ejemplo, si la hipótesis de partida nula (H_0) es: 'El fármaco Varespladib **no** tiene ningún efecto inhibitorio sobre las fosfolipasas A_2 miotóxicas del veneno de serpientes'; lo que sería contrario al resultado que demuestra que **sí** tiene un efecto inhibitorio sobre estas toxinas; entonces la hipótesis nula se rechaza y lo que funciona es la hipótesis alternativa: 'El fármaco Varespladib tiene efecto inhibitorio sobre las fosfolipasas A_2 miotóxicas del veneno de serpientes.'

Independientemente de cómo se formulen, las hipótesis científicas pueden proponerse como una oración, una ecuación, un esquema, un gráfico, o como un conjunto de formas que deben tener unidad. Cuando se formula como una oración, se pueden seguir ciertos trucos sintácticos y de entendimiento de lo que se piensa descubrir, de acuerdo con la evidencia. De este modo es posible 'transformar la pregunta científica en hipótesis'; así: '¿Puede el proteoma de *Vibrio neptunius* revelarnos el tipo de metabolismo intermedio que realiza esta bacteria en los estuarios marinos?', se puede modificar a la siguiente hipótesis: 'El perfil proteómico de *Vibrio neptunius* demuestra que esta es una bacteria halófila moderada con un metabolismo anaerobio facultativo'. Del mismo modo la pregunta: '¿Cuál es la prevalencia por edad y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en las principales capitales de América Latina?', se podría replantear como hipótesis de la siguiente manera: 'La prevalencia de *Ehrlichia canis* en los perros callejeros de las principales ciudades de América Latina es mayor al 5%, con mayor distribución en hembras adultas.'

Como se puede constatar, las preguntas transformadas en hipótesis tienen elementos diferentes, que son producto de la investigación, tales como que 'el metabolismo de *Vibrio neptunius* es anaerobio moderado' y que 'crece en altas concentraciones de sal (halófila)', o bien que la 'prevalencia de *E. canis* es mayor al 5% en perros callejeros en América Latina, con mayor distribución en hembras adultas'. Es decir, aunque la pregunta nos ayuda a formular la hipótesis, se debe tener idea del resultado que se puede obtener. Esto implica que una hipótesis científica debe procurar ser plausible y realista, basada en evidencia previa, la que para su formulación requiere lectura, observación y experimentación.

Las hipótesis pueden ser verdaderas en un contexto, pero falsas en otros, por lo que este debe definirse. Por ejemplo, la 'Ley de la gravitación universal' propuesta por Newton funciona con precisión en el contexto de la gravedad en la Tierra según una ecuación propuesta por este investigador. Sin embargo, en el contexto del universo, esta 'Ley' no funciona y la que aplica es la relatividad especial propuesta por Einstein. Es decir, mientras una funciona (de forma práctica) en el mundo cotidiano (Newton), la otra (Einstein) funciona en el contexto cosmológico universal. Tanto Newton como Einstein expresaron estas hipótesis científicas como fórmulas matemáticas, que es la manera más precisa de hacerlo. La hipótesis de Einstein no fue aprobada inmediatamente, y requirió evidencia observacional que finalmente demostró que era cierta. Así una hipótesis de la gravitación de Newton se puede establecer con la fórmula $F=G(m_1m_2/r^2)$. Otras formas comunes de proponer las hipótesis experimentales son los gráficos, las fórmulas químicas o los diagramas (Fig.5.3).

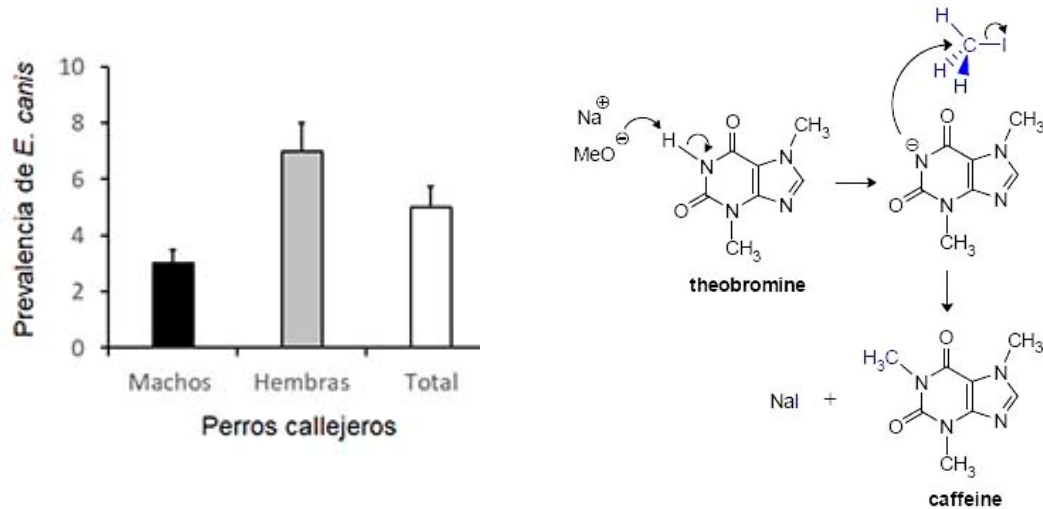


Figura 5.3: Ejemplos de la representación conceptual de una hipótesis mediante gráficos. Las fórmulas químicas fueron tomadas y adaptadas de *Wikicommons*.

El gráfico de la izquierda resume la hipótesis: '*La prevalencia de Ehrlichia canis* en los perros callejeros de las principales ciudades de América Latina es mayor al 5% con mayor distribución en hembras adultas'. Mientras en el de la derecha la hipótesis sería: 'El intermediario en la síntesis de la cafeína a partir de la teobromina ocurre mediante N-metilación vía Sn2'. Los gráficos y los esquemas ayudan a visualizar las hipótesis, por lo que muchas veces es conveniente incluirlas de ambas formas; es decir, redactarlas al mismo tiempo que poner el gráfico o fórmula, tal y como se sugiere aquí.

5.9 Resultados preliminares

En la actualidad, casi todas las propuestas de investigación, incluyendo los anteproyectos para trabajos de tesis, aceptan y ven con buenos ojos la inserción de resultados preliminares generados por los proponentes. Los resultados de otras personas no se consideran preliminares, sino antecedentes y deben incluirse como parte de la Introducción. Los resultados preliminares deben sugerir que la hipótesis propuesta podría ser cierta, ya sea total o parcialmente, y tienen que estar en concordancia con lo que se propone investigar.

Tener resultados preliminares es un seguro que indica que las cosas marchan bien. Esto es importante para los evaluadores. Incluso en algunas agencias como NIH, IFS, Human Frontiers, Unión Europea y otras instituciones, exigen resultados preliminares como parte esencial de los proyectos. Es recomendable que los resultados preliminares complementen las publicaciones de los proponentes, o en su defecto, del profesor tutor cuando se trate de un anteproyecto presentado por un estudiante.

Los resultados preliminares generalmente muestran los fenómenos empíricos, no los mecanismos (los que se espera sean descubiertos). Se pueden describir en forma de cuadros, gráficos, fotografías de experimentos, formulas químicas o matemáticas, etc.

Por ejemplo, tomando en cuenta la hipótesis: 'El perfil proteómico de *Vibrio neptunius* demuestra que esta es una bacteria halófila moderada con un metabolismo anaerobio facultativo', se pueden presentar los siguientes resultados preliminares (Fig.5.4):

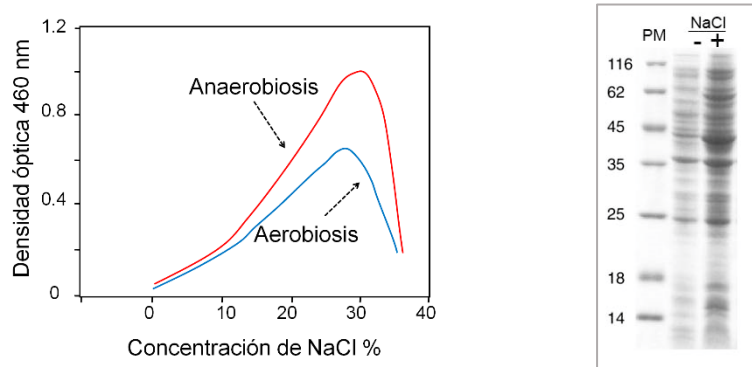


Figura 5.4: Crecimiento de *Vibrio neptunius* a 15 °C (izquierda), bajo condiciones anaerobias y anaerobias en presencia de diferentes concentraciones de NaCl. Perfil de proteínas de *Vibrio neptunius* (derecha) crecido a 15 °C en ausencia (-) y presencia (+) de NaCl.

Los gráficos de estos dos experimentos preliminares diferentes, sugieren que la bacteria marina *Vibrio neptunius* crece mejor en condiciones anaerobias y que el perfil de proteínas es más intenso y abundante cuando se cultiva en presencia de sal (NaCl). Por tanto, los resultados preliminares apoyan en cierta medida la hipótesis y sugieren que lo propuesto es plausible. Para cumplir a cabalidad los objetivos de la propuesta falta mucho por hacer (ej. proteómica bajo diferentes condiciones y analizar los perfiles, abundancia y función de las proteínas, etc.). A pesar de eso los resultados preliminares indican que se 'marcha por buen camino'.

Los resultados preliminares tienen que presentarse como una unidad, acompañados de los gráficos, tablas/cuadros y figuras respectivos, con los textos que los describan en una prosa clara y somera. El texto debe hacerse como un solo ensayo, en el cual los métodos, los resultados preliminares, la discusión y las conclusiones se combinan ordenadamente, intercalándose con las figuras y las tablas requeridas. En esta sección, los métodos deben redactarse de forma resumida con palabras sencillas, sin grandes detalles, concatenados con los resultados, e incluir las referencias pertinentes. Incluso se puede referir a la sección de Estrategia metodológica para indicar que los detalles de los métodos se incluyen en allí. En cierta forma se parecen a la presentación de un *poster* científico (<https://www.enago.com/academy/scientific-posters-an-effective-way-of-presenting-research/>).

Muchas propuestas presentadas por investigadores experimentados se basan en resultados ya obtenidos. En estos casos los resultados preliminares pueden estar muy avanzados. En este tipo de situaciones, el proponente debe decidir qué resultados 'enseñar' y cuáles 'guardar'. Aunque parezca una contradicción, muchos de los

científicos consolidados o incluso algunos estudiantes trabajando en equipos de investigación robustos, llegan a tener entre 25% y el 50% de los resultados en el momento de presentar un anteproyecto o un proyecto investigación para ser financiado. Incluso algunos llegan a tener el 100% de los resultados, en el momento de presentar la propuesta. Esto comúnmente sucede cuando existe una línea de investigación consolidada. Algunos consideran que esto no es pertinente y lo juzgan paradójico. Sin embargo, las agencias, organizaciones y los evaluadores respectivos lo sospechan y la mayoría lo aceptan, haciéndose 'de la vista gorda', ya que la experiencia ha demostrado que consolida el éxito de las propuestas y graduación de los estudiantes. En este sentido, queda a criterio de los proponentes del proyecto, la cantidad y el tipo de resultados preliminares que es prudente generar e incluir en una propuesta. En mi experiencia, entre el 10% y el 25% es una proporción adecuada.

En algunos casos, he observado que anteproyectos de grado o posgrado de estudiantes, carecen de resultados preliminares generados por ellos mismos. Sin embargo, en algunos casos es posible incluir resultados preliminares generados por otros miembros del grupo del tutor. En esos casos se debe aclarar en la propuesta la fuente de esos resultados preliminares obtenidos por el grupo de investigación del tutor o profesor guía. Si no se tienen resultados preliminares, hay que justificar muy bien los antecedentes en la introducción respectiva.

5.10 Objetivos

Los objetivos son una parte esencial de toda propuesta de investigación. En ciencia los objetivos tienen la intención de identificar los problemas y descubrir las relaciones entre las variables, de tal manera que por medio de los resultados se pueda describir, explicar, pronosticar y controlar fenómenos, descubrir leyes y desarrollar teorías. La mayoría de las propuestas y proyectos solicitan que los objetivos se incluyan en una sección aparte; otras proponen que sean parte de la Introducción. Independientemente de cómo se incluyan, existen dos tipos de objetivos: los 'generales' y los 'específicos'. Aunque puede existir más de un objetivo general (cuando las propuestas son divididas), casi siempre solo hay uno. Por otro lado, los objetivos específicos pueden ser de dos en adelante, sin embargo, lo recomendable es un máximo de cinco. Incluir muchos objetivos específicos sugiere amateurismo, lo que en ciencia es poco tolerado. Los objetivos específicos deben derivarse del objetivo general y tener coherencia. Una propuesta corta y puntual, es probable que solo tenga un objetivo.

Más que en ninguna otra sección, el objetivo general y los específicos deben ser claros, precisos, de fácil lectura y redactarse como una sola oración, sin puntos ni signos de admiración o de pregunta. Es decir, aunque se derivan de preguntas científicas, los objetivos no deben plantearse como una interrogación, una exclamación o una negación. Tienen que escribirse de forma propositiva y evitar la jerga y los acrónimos. Muchos objetivos pueden construirse como oraciones condicionales. Veamos un ejemplo utilizando la pregunta científica: '¿Puede el proteoma de *Vibrio neptunius* revelarnos el tipo de metabolismo intermedio que realiza esta bacteria en los estuarios marinos?', la que se puede modificar como objetivo general: 'Determinar qué tipo de metabolismo

intermedio tiene la bacteria marina *Vibrio neptunius*'. Los objetivos específicos deben ser científicos y estar en concordancia y relacionados con el objetivo general. Por ejemplo:

- i. Determinar si la expresión y el perfil de proteínas de *Vibrio neptunius* varía bajo diferentes condiciones de crecimiento
- ii. Establecer cuáles proteínas de *Vibrio neptunius* expresadas en el objetivo 'i' dependen del funcionamiento de las bombas de sodio y cloro
- iii. Evaluar qué tipo de proteínas de *Vibrio neptunius* expresadas en los objetivos 'i' y 'ii' dependen de respiración aerobia, microarófila, o anaerobia
- iv. Con base en los resultados obtenidos en los objetivos anteriores, construir un modelo cognitivo que sugiera el tipo de metabolismo intermedio que tiene *Vibrio neptunius* bajo diferentes condiciones

Las palabras que generalmente se usan en los objetivos como introducción son verbos propositivos (ej. describir, evaluar, pronosticar, establecer, determinar, controlar, descubrir, desarrollar, etc.), que muchas veces que van acompañados del condicional 'si', el que se puede usar con cualquier tiempo de indicativo, menos el futuro. En muchos casos se puede sustituir el 'si' por 'qué clase', 'qué tipo', 'qué forma', 'cuáles', 'cuántos', 'cómo', etc. Un objetivo nunca usa verbos como 'probar' o 'comprobar'; por ejemplo: 'Probar que la expresión y el perfil de proteínas de *Vibrio neptunius* varía bajo diferentes condiciones de crecimiento'; es un objetivo incorrecto ya que la ciencia y sus herramientas experimentales y observacionales no intentan probar o reprobar nada; su misión es descubrir la verdad, o por lo menos aproximarse a ella. Es decir, generar resultados que apoyen o rechacen la hipótesis propuesta. Nótese que el último objetivo específico no es condicional. En este sentido verbos como 'establecer', 'diseñar', 'construir' y otros similares sirven también para escribir objetivos, dependiendo de las intenciones.

Nótese que ni el objetivo general ni los específicos, incluyen la metodología (ej. la proteómica). Esto se debe a que el objetivo general es científico, no metodológico: intenta entender el metabolismo de esa bacteria, independientemente del procedimiento que se use. Del mismo modo, los objetivos específicos tampoco incluyen el método. En este sentido hay que hacer la diferencia entre objetivos científicos y metodológicos. Las propuestas científicas deben indicar objetivos científicos y evitar los metodológicos. Desafortunadamente, escribir los objetivos específicos como actividades metodológicas es una tendencia muy generalizada, lo que de nuevo demuestra amateurismo e inexperiencia científica. Veamos algunos ejemplos incorrectos de objetivos específicos planteados a partir del general: 'Determinar la prevalencia por edad y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en las principales capitales de América Latina':

- Establecer la población de perros callejeros que se deben muestrear en las diferentes capitales de América Latina, usando la técnica aleatorio simple y estratificada de Avelange

- Detectar las infecciones por *E. canis* en la sangre de perros callejeros utilizando PCR y ELISA
- Estimar la prevalencia de *E. canis* en perros callejeros analizando los resultados mediante pruebas paramétricas y no paramétricas

En realidad, estos son objetivos metodológicos, no científicos. Escribir los objetivos de esta forma es trivial, ya que los métodos se describirán en detalle en otro apartado; por lo que es innecesario incluirlos dentro de objetivos específicos. Además, puede ser que un mismo objetivo se pueda resolver por medio de diferentes tecnologías, las que pueden decidirse más adelante.

Por otro lado, las propuestas sobre investigación tecnológica o desarrollo tecnológico, pueden incluir objetivos metodológicos. Así ante la pregunta: '¿Se podrían cuantificar proteínas por espectrometría de masas introduciendo en la muestra diferentes tipos de péptidos como estándares internos?', el objetivo sería: 'Estimar el número de proteínas mediante espectrometría de masas usando una colección de péptidos como estándares internos'. En este caso el propósito es mejorar o diseñar una técnica, basándose en la ciencia, por tanto, usar objetivos metodológicos es correcto. Hay que procurar, en la medida de lo posible, que los objetivos sean mecánicos, y no solamente descriptivos, y que tengan un significado apropiado.

Algunas agencias (ej. Unión Europea y otras) solicitan en sus formularios lo que llaman 'paquetes entregables' (*deliverable packages*) que no son más que los resultados y productos que se piensan obtener durante las diferentes fases de la investigación y que se van reportando a la agencia, para que esta pueda seguir el curso de la investigación que se está apoyando con fondos económicos. Algunos formularios (en particular dentro del medio subdesarrollado) parecen estar diseñados para confundir a los proyectistas y hacerles la vida difícil. Algo común en este contexto es la inclusión de 'objetivos', 'metas' y 'logros' como apartados diferentes o juntos. Aunque los 'objetivos' y las 'metas' se pueden considerar sinónimos, algunas instituciones proponen a los primeros como 'una intención general de lo que se propone hacer', mientras que a las 'metas' como 'una intención más específica dentro del objetivo'. Los 'logros' en este caso no se relacionan con los productos (que se detallan más adelante), sino con la obtención del resultado específico de objetivo propuesto. Por ejemplo:

Objetivo:	<i>Determinar si la expresión y perfil de proteínas de Vibrio neptunius varía bajo diferentes condiciones de crecimiento.</i>
Meta:	<i>Realizar cinco análisis del perfil de proteínas de Vibrio neptunius bajo diferentes condiciones de crecimiento.</i>
Logro:	<i>Obtención de cinco perfiles de proteínas de Vibrio neptunius bajo diferentes condiciones de crecimiento.</i>

Para cada objetivo puede haber varias metas y logros. Aunque lo anterior es paradójico y poco razonable, hay que aprender a lidiar con estas curiosidades, las que

comúnmente son propuestas por personas ajenas o con poca experiencia en la investigación científica. Hay que recordar que las instrucciones deben seguirse al pie de la letra, independientemente del parecer de los proponentes.

5.11 Justificación

Justificar una propuesta es uno de los 'dolores de cabeza' de los proyectistas. Primero que todo, hay que diferenciar entre los intereses propios y los de la agencia o la institución, los que no siempre concuerdan. Por ejemplo, las intenciones de un investigador pueden ser puramente hedonistas, es decir, la ciencia por el placer de la ciencia misma, que consiste en responder preguntas sobre la naturaleza, sin interesarse en su utilidad o propósito. Aunque esto puede parecer raro, el hedonismo en la ciencia es común, en particular entre los investigadores que hacen ciencia fundamental. Esto no es peyorativo, sino una actividad constructiva, de la misma forma que lo son el arte y la música. Contribuir al conocimiento es una acción que se justifica por sí misma. Muchos investigadores lo hacen por vocación, otros solo se entretienen, mientras algunos quieren salvar al mundo o creen que lo que ellos hacen es lo más importante. La variedad es grande.

Independientemente de la justificación personal que se tenga, para que un proyecto sea aprobado, hay que seguir los lineamientos y los intereses que tengan las agencias e instituciones y hacerlos converger con los propios, siempre dentro del contexto de la ciencia. En el caso de los anteproyectos de graduación o propuestas dirigidas a instituciones que les interesa la investigación fundamental (ej. IFS, Human Frontiers y otras), la justificación puede ser puramente científica y mecanística. En otras ocasiones las propuestas deben ajustarse a las pautas específicas que propone la agencia, como temas relacionados con medio ambiente, salud, conservación, seguridad alimentaria, etc. Por ejemplo, la justificación para la pregunta '¿Puede el proteoma de *Vibrio neptunius* revelarnos el tipo de metabolismo intermedio que realiza esta bacteria en los estuarios?', parecería enmarcarse dentro de la investigación fundamental, ya que esta es una bacteria que no tiene relevancia médica o económica, que es de vida libre y casi desconocida. Algunos podrían catalogar este tipo de investigación como 'poco importante' o 'irrelevante'. Sin embargo, con la justificación apropiada, la perspectiva de los revisores puede cambiar. Una manera en la que se podría justificar la propuesta es:

*Los estuarios son fuente de proteína para los habitantes que viven de la pesca en las riberas de los ríos que colindan con el mar. *Vibrio neptunius*, al igual que otro tipo de bacterias halófilas como *Vibrio brasiliensis* y *Vibrio xuii*, forman parte de la microbiota de estuarios marinos tropicales. Estas bacterias varían su metabolismo de acuerdo con la oxigenación de los estuarios, por lo que podrían servir como indicadores de la 'buena' salud de estos importantes nichos de diversidad biológica marina. Sin embargo, se desconocen las proteínas que intervienen en la síntesis, la degradación y la conversión de sustratos y de energía de estas bacterias marinas halófilas, por lo que su descripción contribuirá al conocimiento sobre el metabolismo intermedio de este tipo de organismos. Además, algunas de estas proteínas*

podrían servir como marcadores biológicos para medir la acción antropogénica en la contaminación de los estuarios.

El párrafo cumple cinco de los requisitos que generalmente se piden en una justificación, por lo que se puede analizar de la siguiente manera:

• ¿Qué relevancia social tendrían los resultados?	<i>Los estuarios son fuente de proteína para los habitantes que viven de la pesca en las riberas de los ríos que colindan con el mar.</i>
• ¿Cómo se ajusta la propuesta a la misión de la agencia?	<i>Vibrio neptunius, al igual que otro tipo de bacterias halófilas como Vibrio brasiliensis y Vibrio xuii, forman parte de la microbiota de estuarios marinos tropicales.</i>
• ¿Por qué razones sería necesario conocer esos resultados?	<i>Estas bacterias varían su metabolismo de acuerdo con la oxigenación de los estuarios por lo que podrían servir como indicadores de la “buena” salud de estos importantes nichos de diversidad biológica marina.</i>
• ¿Qué sería lo nuevo que enseñarían los resultados, que nadie más sabe?	<i>Sin embargo, se desconocen las proteínas que intervienen en la síntesis, la degradación y la conversión de sustratos y de energía de estas bacterias marinas halófilas, por lo que su descripción contribuirá al conocimiento sobre el metabolismo intermedio de este tipo de organismos.</i>
• ¿Cuáles serían los beneficios colaterales que proporcionarían los resultados?	<i>Además, algunas de estas proteínas podrían servir como marcadores biológicos para medir la acción antropogénica en la contaminación de los estuarios.</i>

Suponiendo que a la agencia le interesa la conservación de los océanos; entonces, el segundo punto se ajusta a las intenciones de la organización. El orden en que se redacten los apartados puede variar de acuerdo con la propuesta. Los apartados 2, 3 y 4 son los más importantes. Se pueden incluir más puntos o bien pueden faltar uno o dos. La justificación debe evitar las exageraciones, el exceso de adverbios de cantidad y de adjetivos y no ser larga (no más de una página). La justificación debe ser realista y posible dentro del contexto en el que desarrollará el proyecto.

5.12 Estrategia metodológica

La estrategia metodológica no debe confundirse con la sección de Materiales y Métodos de una publicación científica, ni redactarse de esa forma. La estrategia metodológica es una sinopsis del trabajo experimental que se propone, es una guía y una

ruta de acción. Es necesario distinguir entre la estrategia y los métodos específicos. En este sentido se pueden incluir subapartados debajo de cada estrategia para definir la metodología. Hay que seguir un orden lógico en el que cada objetivo específico se asocie con al menos una estrategia, y esta con al menos una metodología, siguiendo como ejemplo el siguiente esquema como guía conceptual (Fig.5.5).

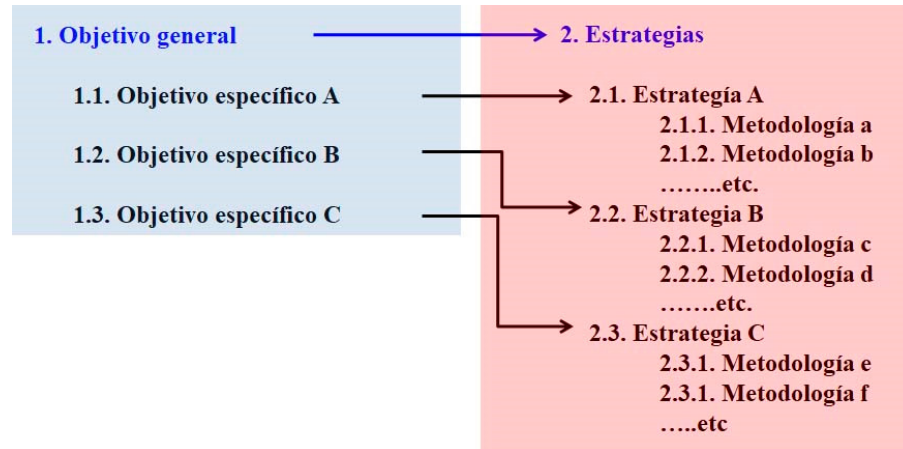


Figura 5.5: Relación entre los objetivos, las estrategias metodológicas, y las metodologías específicas de una investigación.

Un objetivo puede relacionarse con una, dos o más estrategias. Además, puede haber una, dos o más metodologías por estrategia. En caso de que se repitan los métodos en diferentes secciones, estos solo deben referirse a la sección correspondiente. Por ejemplo, para el objetivo: 'Determinar el efecto del Varespladib en la actividad catalítica de fosfolipasas representativas de los grupos I y II de venenos de serpientes', la descripción de la estrategia sería:

Primero, determinaremos la actividad fosfolipasa in vitro de los venenos y toxinas de serpientes, para después hacer el mismo experimento agregando diferentes concentraciones de Varespladib. Con esto pretendemos evaluar si este compuesto tiene un efecto inhibitorio sobre la actividad catalítica y tóxica de las fosfolipasas A₂ y determinar las concentraciones óptimas de Varespladib. Seguidamente, determinaremos la dosis letal 50 de cada uno de los venenos y toxinas en ratones, en presencia o ausencia de diferentes concentraciones de Varespladib. Esto lo haremos mediante inyecciones conjuntas de veneno o toxina con Varespladib en la misma solución (previa incubación), o por administración independiente dando una inyección de veneno o toxina, y posteriormente una inyección de Varespladib, a diferentes tiempos. Seguidamente haremos experimentos para investigar el efecto que tiene este compuesto en la mionecrosis inducida por los venenos y toxinas. Para eso inyectaremos una solución de toxina o de veneno con diferentes concentraciones de Varespladib en el gastronemio de ratones. Posteriormente determinaremos la actividad

creatinquinasa en el plasma de los ratones tratados y evaluaremos la histopatología. También haremos experimentos in vitro para determinar la acción del Varespladib sobre la citotoxicidad de cada veneno y toxina respectiva.

Como se puede apreciar, la estrategia es una narración a manera de 'cuento' de lo que se va hacer, sin usar jerga complicada ni detalles metodológicos, tales como concentraciones, tiempos, nombres de casas comerciales, etc. En este caso se usó la primera persona del plural (*Primero [nosotros] determinaremos la actividad fosfolipasa...*), ya que la propuesta a la que se hace referencia fue hecha en grupo. En los países anglosajones es común que un estudiante, o un posdoctorando escriba su anteproyecto en primera persona del singular (*[Yo] determinaré la actividad fosfolipasa...*). Esto es perfectamente correcto, cuando una sola persona es la que presenta el anteproyecto, pues en última instancia los responsables del proyecto son ella o él. Sin embargo, en la idiosincrasia de muchos países de América Latina y otros más, se tilda de arrogancia y falta de modestia escribir en primera persona del singular, por lo que se promueve redactar de manera impersonal (*Se determinará la actividad fosfolipasa...*). Es decir, se usa el pronombre impersonal 'se'. En este sentido los proyectistas tienen que conocer el medio idiosincrático en el que se presentará la propuesta y quién la leerá. Si el proyecto se escribe en inglés, para una audiencia (ej. revisores) anglosajona, es perfectamente aceptable (y conveniente) hacerlo en primera persona del singular ('I'), pero si es en un medio académico de profesores de una universidad latinoamericana, es mejor consultarlo con anterioridad. El estilo también es importante para las personas.

Muchas veces es recomendable incluir un esquema sobre la estrategia metodológica, lo que ayuda al revisor a seguir la ruta de acción. Por ejemplo, para la sección: *Seguidamente haremos un experimento para investigar el efecto que tiene este compuesto en la mionecrosis inducida por los venenos y toxinas. Para eso inyectaremos una solución de toxina o de veneno con diferentes concentraciones de Varespladib en el gastronemio de ratones. Posteriormente determinaremos la actividad creatinquinasa en el suero de los ratones tratados y se evaluaremos la histopatología*; un esquema podría ser (Fig.5.6):

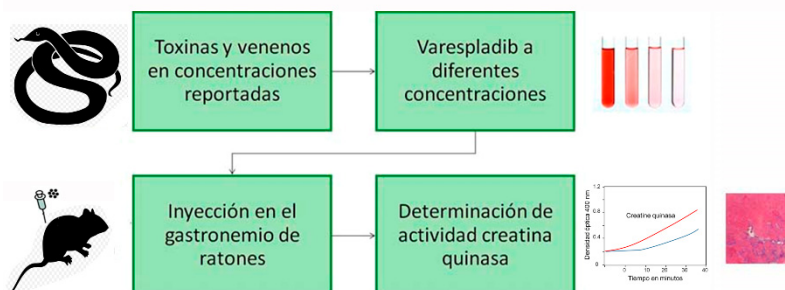


Figura 5.6: Esquema de la estrategia metodológica para determinar el efecto del Varespladib sobre la mionecrosis inducida por venenos y toxinas de serpientes en un modelo murino *in vivo*. Figuras de la izquierda tomadas de Wikicommons.

A la estrategia debe seguir una metodología, la que tiene que redactarse en prosa de manera simple, procurando no usar exceso de acrónimos ni jerga científica elaborada. Por ejemplo, la metodología para la primera sección correspondiente a: *Primero, determinaremos la actividad fosfolipasa in vitro de los venenos y toxinas de serpientes, para después hacer el mismo experimento agregando diferentes concentraciones de Varespladib*; sería:

Utilizaremos venenos completos de Crotalus durissus, Bothrops asper, Pseudechis porphyriacus y Bungarus multicinctus, así como sus respectivas fosfolipasas A₂ (crotoxina B, MT-I, pseudexina y β -bungarotoxina). Determinaremos la actividad enzimática de cada veneno y toxina a diferentes concentraciones, utilizando un protocolo descrito anteriormente (Cho et al., 1988; Holzer y Mackessy, 1996). Una vez determinada la actividad enzimática de cada toxina y veneno, repetiremos el experimento con concentraciones óptimas de cada uno, esta vez agregando Varespladib a diferentes concentraciones.

Mientras los métodos nuevos o los diseñados exclusivamente para una propuesta deben describirse con más detalle, los métodos bien conocidos solo deben referirse mediante una cita bibliográfica apropiada. Esto ayuda a condensar la metodología. Hay que tener particular cuidado y usar las referencias precisas. Es importante incluir los controles que se van a usar, de qué manera se coleccionarán los datos, el tipo de análisis y la interpretación de los análisis. Aunque la jerga y los nombres científicos son muchas veces inevitables, estos deben contextualizarse en la medida de lo posible. Además, a menos de que sea absolutamente necesario, debe evitarse el uso de concentraciones, tiempos, casas comerciales y otros detalles. Por ejemplo, una manera poco apropiada y embrollada para redactar la metodología anterior en una propuesta o un anteproyecto sería la siguiente:

Utilizaremos venenos completos de Crotalus durissus, Bothrops asper, Pseudechis porphyriacus y Bungarus multicinctus, así como sus respectivas PLA₂: crotoxina B, MT-I, pseudexina y β -bungarotoxina, aisladas por cromatografía de acuerdo al método de (Long et al 1998). Disolveremos los venenos y las toxinas en PBS y 2-[[3-(2-Amino-2-oxoacetyl)-2-ethyl-1-(phenylmethyl)-1H-indol-4-yl]oxy]-acetic acid (Varespladib de Sigma-Aldrich, Georgia, USA) en DMSO (Sigma-Aldrich, Georgia, USA), a las concentraciones de 1 ng, 5 ng y 10 ng. Posteriormente determinaremos la actividad PLA₂ de cada veneno y toxina a diferentes concentraciones, utilizando un protocolo previo (Cho et al., 1988; Holzer y Mackessy, 1996). En resumen, se colocarán las toxinas y venenos en placas de polipropileno de 96 huecos (Nunc, Basel, Suiza), con sustrato 4-NOBA (4-nitro-3-octanoyloxy-benzoic acid) disuelto en CH₃CN a 1 mg/ml y buffer (Tris-HCL 0.01 M, CaCl₂ 0.01 M y NaCl 0.1 M (pH 8.0)), todos de Sigma, a 37 °C por una hora. Seguidamente, determinaremos su densidad óptica en un espectrofotómetro (Merck, Berlín, Alemania) a 460 nm. Una vez

determinada la actividad PLA₂ de cada toxina y veneno, repetiremos el experimento con concentraciones óptimas de cada uno, esta vez agregando Varespladib a diferentes concentraciones disuelto en DMSO.

Escribir la metodología con este detalle y con exceso de acrónimos, está bien para un trabajo científico, pero no para una propuesta. La lectura de este texto es tediosa, intrincada y no favorece la comprensión. Hay que tener en cuenta que los revisores quieren enterarse solo de la ruta de acción y no de todos los detalles (los que eventualmente deben ser publicados). En segundo lugar, las minucias metodológicas e incluso las técnicas que se describen en una propuesta casi siempre varían durante el transcurso de la investigación (una cosa es lo que se planea y otra distinta es la realidad). La aparición de nuevos métodos y la práctica durante la experimentación, va mostrando cuáles son las mejores rutas metodológicas, así como los reactivos y las condiciones correctas que se necesitan, las que casi nunca concuerdan en los detalles de una metodología que se describe *a priori*. Es precisamente lo contrario a un trabajo científico, en el que la metodología se tiene que escribir con detalle obligadamente *a posteriori*, pues la intención es dar los elementos para que alguien pueda repetir el experimento. Por eso, es trivial particularizar cosas que probablemente varíen en el futuro. Incluso la mayoría de los formularios de proyectos científicos propuestos por agencias internacionales solo piden la estrategia metodológica (la ruta de acción general) sin que se detalle la metodología propiamente. Eso depende de cada organización. En el caso de anteproyectos es común que se describa la metodología con la intención de constatar si el estudiante la ha entendido. Eso varía de acuerdo al profesor y comité tutorial.

Como se advirtió anteriormente, en algunos contextos existen formularios de proyectos diseñados por personas con poca experiencia que confunden una propuesta con un trabajo científico, de nuevo complicando 'la vida' a los proponentes. Estos generalmente 'desean' que se escriba con gran detalle la metodología, como si fueran los Materiales y Métodos de una publicación científica, sin tomar en cuenta los criterios anteriores. De nuevo, son curiosidades idiosincráticas. Hay que adaptarse y seguir las instrucciones al pie de la letra y tener la esperanza que en el futuro se desarrolle una cultura científica apropiada, que permee el contexto en el que se desarrolla la investigación.

5.13 Resultados esperados y productos

Esta es una sección importante, por lo que hay que tener especial cuidado en la manera que se redacta, ya que en principio es una sección especulativa. No se deben incluir ocurrencias triviales, sin apoyo experimental u observacional. Por el contrario, todos los resultados esperados y productos tienen que ser plausibles. En algunas propuestas se separan los 'Resultados esperados' de los 'Productos' ya que hay diferencias conceptuales entre ellos: mientras los primeros son el 'producto' directo de la experimentación, los segundos pueden referirse a los beneficios, propiamente.

Cuando se tienen resultados preliminares, estos se pueden usar como punto de partida para la especulación, junto con la literatura relacionada con el tema. Por otro

lado, cuando no se tienen resultados preliminares, es más difícil especular, pues lo único que se tiene como referencia es la literatura científica relacionada. Los resultados esperados se pueden proponer en forma de prosa o bien mediante esquemas. Por ejemplo, ante la pregunta: '¿Puede el Varespladib inhibir la actividad catalítica de las fosfolipasas representativas de los grupos I y II de venenos de serpientes *in vivo*?' El resultado experimental esperado podría ser:

*De acuerdo con el modelo experimental, se espera que concentraciones inocuas de Varespladib tengan un efecto inhibitorio *in vivo*, en por lo menos un 80% sobre la acción miotóxica de los venenos y las toxinas aisladas de *Crotalus durissus*, *Bothrops asper*, *Pseudechis porphyriacus* y *Bungarus multicinctus**

El resultado esperado también puede expresarse en forma de gráfico, incluyendo una leyenda, como se muestra en la Fig.5.7:

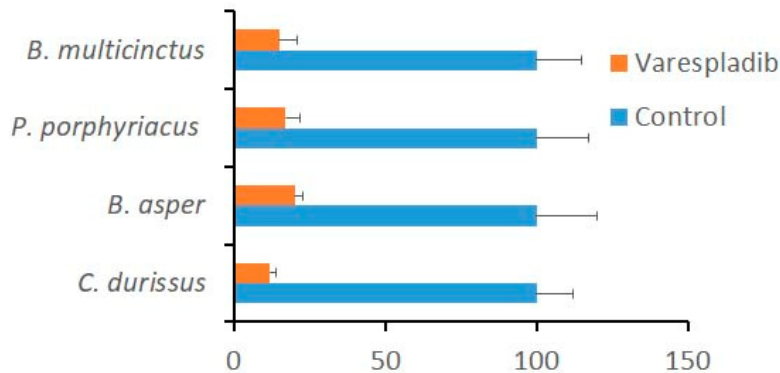


Figura 5.7: Demostración gráfica del resultado esperado en el que Varespladib inhibe los efectos miotóxicos *in vivo* de los venenos de diferentes serpientes, en por lo menos un 80%.

De aquí se deriva que el producto esperado podría ser:

Suero antiofídico complementado con concentraciones no tóxicas de Varespladib. Este producto complementado podría funcionar mejor en el tratamiento del envenenamiento ofídico por este tipo de serpientes, inhibiendo de una manera más eficiente la actividad miotóxica y favoreciendo la regeneración del tejido muscular.

Al producto debe seguir la descripción del mismo, de tal manera que se tenga una idea de para qué sirve. Nótese que hay una diferencia obvia entre los resultados esperados y los productos esperados: mientras los primeros son 'neutros'; es decir, no son 'ni buenos ni malos', los segundos derivan algún beneficio. Siempre que sea posible, los resultados esperados deben procurar dar valores cuantitativos aproximados. Por

otro lado, las predicciones cualitativas deben basarse en modelos plausibles, lo que implica mayor riesgo. Los productos tienen que apoyarse en los resultados esperados y comprender alguna de las siguientes categorías:

- Descubrimiento de mecanismos (nuevo conocimiento)
- Nuevas propuestas, reformulación de teorías
- Descubrimiento de procesos
- Desarrollo de métodos y técnicas
- Elaboración de inventos tales como vacunas, antibióticos, etc.
- Validación de productos y procesos
- Líneas estratégicas de desarrollo
- Graduación de estudiantes y entrenamiento posdoctoral
- Publicaciones y difusión de los resultados
- Patentes

Estas categorías de productos se pueden presentar en forma cuantitativa (ej. dos estudiantes de maestría, tres de doctorado y un posdoctorando) o cualitativa (ej. descubrimiento del mecanismo de acción de una enzima). Como se mencionó en la sección de 'Resultados preliminares', los investigadores consolidados y con mayor experiencia son, por lo general, quienes más resultados preliminares tienen. En este sentido, no es de extrañar que una parte de los resultados obtenidos se presenten como 'Resultados esperados'. En mi experiencia como científico y evaluador de proyectos varias veces he sospechado que los 'Resultados esperados' presentados por un estudiante o por un proyectista, son en realidad 'resultados'. Como se mencionó en la sección de 'Resultados preliminares', este asunto casi siempre queda a criterio de los proponentes y rara vez es penalizado. Del mismo modo que es pertinente que se presenten resultados preliminares, también es conveniente que un anteproyecto o una propuesta incluya una proporción significativa de objetivos pendientes para investigarse.

5.14 Posibles problemas y cómo solucionarlos

No todas las propuestas de investigación incluyen un apartado específico para 'Posibles problemas y cómo solucionarlos'. Si esto fuere así, entonces es conveniente incluirlos en la sección de 'Resultados esperados' como una subsección. Esta sección sirve para que los proponentes demuestren que existe previsión en la investigación, lo que siempre es bien visto. Hay que tener presente que los resultados, son los resultados. Por tanto, no existen resultados 'buenos' ni 'malos'. Ellos solo apoyan la hipótesis o la rechazan (H_1 o H_0). Eso es todo. Ahora bien, los resultados dependen del diseño experimental y ninguna investigación está exenta de problemas y fracasos, por lo que es conveniente preverlos y enfrentarlos con un 'plan B'. Es decir, mediante opciones metodológicas que puedan superar los problemas. Para disminuir el riesgo, es necesario incluir alternativas que no dependan de un solo parámetro. Por ejemplo, ¿qué sucedería si en el objetivo anterior, el Varespladib no tiene ningún efecto en la actividad catalítica de las fosfolipasas de los grupos I y II de venenos de serpientes? ¿Sería el fin del

proyecto? Algunos evaluadores podrían pensar que efectivamente es el fin, ya que la respuesta es un simple 'no tiene efecto'. Es decir, es una pregunta sin alternativas y por tanto, riesgosa, a menos que se presenten opciones. En este sentido algunas podrían ser: i) mirar otros tipos de inhibición que no tengan que ver con la acción enzimática; ii) usar fármacos alternativos; iii) investigar las razones por las que no inhibe a esas toxinas en particular, tomando en cuenta que el Varespladib es un inhibidor de otro tipo de fosfolipasas, etc. Incluso, en aquellos casos en que el resultado esperado no sucediera, entonces debe plantearse alternativas para modificar la hipótesis y los objetivos, de acuerdo con los datos no esperados.

Por otro lado, existen investigaciones cuyo 'éxito' no depende del resultado que se obtenga, ya que la respuesta no es 'sí' o 'no' y cualquier dato es bienvenido y se acepta dentro del contexto de la hipótesis y la propuesta. Es decir, tanto la hipótesis alternativa (H_1) como nula (H_0) son bienvenidas. Por ejemplo, ante el objetivo: 'Determinar la prevalencia por edad y sexo de los perros callejeros infectados con *Ehrlichia canis* en la ciudad de San José'; el resultado que se obtiene corresponde a un número (prevalencia), el cual puede ir desde 0% a 100%. Por tanto, cualquier resultado puede ser interpretado de acuerdo con la hipótesis, pues tan 'buena' es la hipótesis nula (H_0), como la alternativa (H_1).

En este sentido dentro de una propuesta o un proyecto de investigación siempre hay que plantearse las siguientes preguntas:

-
- ¿Qué pasa si el resultado previsto no sale?
 - ¿Tanto la hipótesis H_1 como la H_0 sirven a los propósitos del proyecto?
 - ¿Cuáles son las rutas alternas para redirigir la propuesta?
 - ¿Qué pasa si la metodología no funciona?
 - ¿Qué tipo de alternativas metodológicas existen?
 - ¿De qué manera se pueden replantear la hipótesis y los objetivos?
-

Las propuestas de investigación de más alto riesgo son las mecanísticas; es decir, las que proponen preguntas de '¿cómo funciona?' (ej. la inhibición por el Varespladib), mientras aquellas propuestas exploratorias o descriptivas, en las que la pregunta es '¿qué hay?' (ej. prevalencia de *E. canis* en perros) son de menor riesgo, ya que cualquier resultado es bienvenido en el contexto de la propuesta. En el caso de estudiantes de grado o maestría que presentan anteproyectos, las preguntas de '¿qué hay?', tienen menor riesgo, a menos de que se tengan resultados preliminares que apoyen la pregunta de '¿cómo funciona?' Muchas veces lo más conveniente, es plantear proyectos 'mixtos', es decir, que incluyan ambos tipos de preguntas, tanto mecanísticas como las exploratorias.

5.15 Facilidades

Todas las propuestas incluyen un apartado sobre las facilidades que tienen los investigadores a su disposición para realizar el proyecto que proponen. Prácticamente

ninguna agencia o institución apoya una propuesta si no existen las condiciones apropiadas. Cuando los investigadores son consolidados y los grupos de investigación están activos, generalmente no hay problema, ya que en su mayoría tienen los equipos, los reactivos y el personal básico para iniciar la investigación. En tal caso, la propuesta está dirigida a solicitar un complemento que permita adquirir nuevos aparatos, más reactivos, realizar viajes y contratar más personal para el proyecto en cuestión. Para los investigadores jóvenes, no consolidados, es más difícil. Como se mencionó en el [Cap.8](#), siempre es conveniente que los investigadores jóvenes inicien sus actividades bajo la tutela de grupos de científicos más consolidados, ya que esto favorece su incursión al medio y en la obtención de recursos.

En el caso de estudiantes de grado, posgrado y posdoctorandos, estos deben siempre asociarse a un tutor, quien tiene que demostrar que posee las facilidades de laboratorio, equipo, materiales, fondos, etc., para que el estudiante o el posdoctorando realice el trabajo de graduación o entrenamiento que se propone. Es conveniente que se empiecen a detallar las facilidades en el siguiente orden:

- Planta física, tales como: laboratorios, oficinas, animalario/bioterio, cuadras, encierros, salas de computación, bibliotecas, quirófanos, facilidades de aislamiento, salones de patología, salas de proyección, etc.
- Enumeración de los equipos, reactivos y materiales que se tienen y que se usarán en el proyecto, tales como: equipos grandes (ej. espectrómetro de masas, microscopio confocal, citómetro, secuenciador, NMR, etc.), materiales de vidrio, materiales de plástico, reactivos biológicos, reactivos químicos, etc.
- Descripción del personal de apoyo que se dispone para la realización del proyecto, tales como: científicos, posdoctorandos, técnicos, estudiantes, chofer, personal administrativo, etc.

Todas estas facilidades deben estar directamente relacionadas con la propuesta, por lo que no se deben incluir aquellas cosas que son ajenas. Las facilidades deben detallarse de manera general, y solamente nombrar equipos o reactivos específicos en caso de que sean particularmente importantes y necesarios para desarrollar el proyecto, y sean de alto costo. Es necesario indicar en donde están esas facilidades y la manera y forma en que se podrá disponer de ellas. Es decir, describir si la planta es compartida, pertenece a un solo grupo, es institucional, privada o pública, etc. Lo mismo para los equipos y materiales. Además, hay que indicar cuál oficina será la responsable de administrar los fondos. Por ejemplo, para el proyecto: 'Efecto de Varespladib en la actividad catalítica de las fosfolipasas representativas de los grupos I y II de venenos de serpientes'; la descripción de las facilidades se puede hacer en prosa, de la siguiente manera:

Para la realización de este proyecto usaremos las instalaciones y el equipo del Instituto Clodomiro Picado (ICP), Universidad de Costa Rica, en donde laboramos. EL ICP es un centro de investigación reconocido que se especializa en el estudio de venenos de serpientes y sus respectivos antivenenos, así como

en el estudio de otras toxinas de origen microbiano. El ICP tiene laboratorios bien equipados de microbiología, histología, inmunología, microscopía, cultivo celular y bioquímica. Además, tiene facilidades para trabajar con animales, entre ellas un bioterio de pequeñas especies, serpentario y un animalario de grandes especies. Tenemos a nuestra disposición todos los venenos de serpientes de donde se aislarán las toxinas, así como parte de los reactivos biológicos y químicos básicos para apoyar la investigación que proponemos. El ICP tiene personal científico y técnico especializado en cada área, el que servirá de apoyo logístico para realizar el proyecto de investigación propuesto, en particular personal encargado del bioterio y animalario, así como de histología y microscopía. Por último, la Fundación de la Universidad de Costa Rica, sería la oficina encargada de administrar los fondos de investigación.

5.16 Descripción del consorcio de investigadores

Es común realizar investigaciones en colaboración con varios grupos científicos. Muchas organizaciones como la *Wellcome Trust*, la Unión Europea, la NSF, NIH, Consejo Nacional de Rectores (fondos FEES) y otras, que financian proyectos colaborativos nacionales e internacionales, solicitan los atestados de los expertos que participan en el proyecto y el aporte de cada grupo. En este sentido es necesario detallar de qué manera funcionarán las interacciones entre los diferentes grupos; lo que se ha llamado el consorcio de investigadores.

Todo proyecto debe tener una persona que coordine el consorcio (líder, o coordinador). Además, debe designarse quiénes serán los investigadores responsables de cada grupo. El líder (que también es responsable de uno de los grupos de investigación), es quien lleva la 'batuta' de la coordinación y a quien las agencias o instituciones hacen referencia y piden cuentas (los informes científicos, financieros, etc). Por otro lado, el líder debe a su vez 'pedir cuentas' a los responsables de cada grupo. Estos tienen que suministrar información al líder para que este elabore los informes, los cuales deben ser revisados por todos los miembros. Además, se debe establecer un acuerdo previo, que certifique los materiales y los equipos que se compartirán, y que asegure que los resultados generados durante la investigación colaborativa serán compartidos y que las publicaciones se harán en conjunto.

Una vez hecho esto, se inicia la descripción general del consorcio, seguida de la de cada grupo. La descripción del *expertise* (grado de conocimiento) de cada grupo debe ser clara, y precisa y estar de acuerdo con lo que cada grupo en particular desarrollará. Aunque se permite cierto grado de redundancia, por lo general se piden *expertises* complementarias entre los grupos. Por ejemplo: dentro del proyecto de investigación: *Brucelosis: una enfermedad humana desatendida que requiere de la identificación de moléculas blanco que puedan servir para el diagnóstico, el tratamiento y el desarrollo de vacunas*, se describe a continuación la descripción general del consorcio y de un solo grupo de investigación (de cuatro que participaron):

Los participantes latinoamericanos y sus homólogos europeos han tenido colaboraciones productivas en el pasado, tal y como lo demuestra un número considerable de publicaciones conjuntas (ver descripción de cada socio), patentes (indicados en los currícula) y estudiantes compartidos. Por lo tanto, este consorcio representa una fracción consolidada de expertos europeos y latinoamericanos en el área de investigación de la brucelosis animal y humana. Los miembros del consorcio tienen una fuerte complementariedad que cubre todos los aspectos necesarios para tener éxito en la investigación propuesta, la que abarca desde la patogénesis bacteriana, el diagnóstico, la microbiología celular, la microbiología molecular y el seguimiento de casos clínicos humanos. La experiencia de todos los socios se describe en las siguientes páginas.

Descripción del grupo:

Departamento de Microbiología y Parasitología, Universidad de Navarra, Pamplona, España.

*Este equipo tiene más de 30 años de experiencia en investigación de brucelosis, que incluyen el diagnóstico de brucelosis humana y animal, estudios sobre virulencia de *Brucella* sp., estructura bacteriana y aislamiento de componentes bioactivos. En cuanto al diagnóstico, el grupo ha centrado su atención en el papel de los antígenos de envoltura celular de *Brucella* (*J. Clin. Microbiol.* 32: 1835; *Clin. Diag. Lab. Immunol.* 4: 279; *Clin. Diag. Lab. Immunol.* 5: 749), así como en el uso de PCR (*Vet. Microbiol.* 92, 65; *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 3735; *J. Clin. Microbiol.* 33, 615). Los estudios de virulencia de *Brucella* se han centrado en las propiedades de los componentes de la superficie bacteriana (*Infect. Immun.* 83: 3054; *J. Bacteriol.* 178: 1070; *J. Bacteriol.* 178: 5867; *Infect. Immun.* 67: 6181; *Infect. Immun.* 68: 3210; *Curr. Opinión Microbiol.* 8: 1; *Nature Immunol.* 6: 618), así como sobre la regulación genética de la virulencia y componentes de la membrana externa (*Mol. Microbiol.* 29: 125; *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 99: 12375; *J. Bacteriol.* 187: 5631). Estos estudios se han llevado a cabo en cooperación con los socios de la Universidad Nacional de Costa Rica y del Centro de Inmunología de Marsella que forman parte de este consorcio. Este grupo también participa en estudio relacionados con la genética del lipopolisacárido y la generación de bacterias mutantes como candidatos para vacunas (*Infect. Immun.* 71: 3261; *Vet. Res.*, 34: 1) lo que actualmente se trabaja en en cooperación con el socio de la Universidad Nacional (contrato de UMTY-S658, UE). Este grupo también participa en la construcción del ORFEOME de *B. melitensis* (una biblioteca completa de todos los ORF clonado en un vector de entrada) coordinado por el investigador responsable del grupo de Namur en Bélgica (*Genome Res.* 14: 2201).*

Miembros del Grupo 2

Ignacio Moriyón, (M) (Profesor, Ph.D.) Director del Departamento de Microbiología.

Ignacio López-Goñi (M) (Profesor, Ph.D.) Diagnóstico molecular y regulación de la expresión génica.

Maite Iriarte (F) (Profesor, Ph.D.).

Daniel González, (M) (Postdoctorando). Genética, aislamiento y caracterización de moléculas de superficie bacteriana.

Amanda Delgado (Técnico). Diagnostico inmunológico y molecular

Rodrigo Urdaci (Técnico). Microbiología general.

Cuatro estudiantes de doctorado (R. Conde, D. García, C. Viadas, L. Palacios)

En la descripción del consorcio, es necesario incluir las colaboraciones presentes y pasadas con todos o algunos miembros del grupo, señalado los productos (publicaciones, estudiantes, patentes, etc.). Es necesario enfatizar el grado de *expertise* y el potencial colaborativo entre los grupos. Las mejores credenciales que los investigadores pueden mostrar son las publicaciones relacionadas con el proyecto que se propone. En la descripción del *expertise* se incluyen las referencias de forma abreviada (nombre de la revista, volumen y página), lo que demuestra logros concretos. Una alternativa, es referir con número y poner al final del párrafo la lista numerada de las referencias. Esto tiene la ventaja de que no interrumpe el texto. En un anteproyecto de estudiantes de grado o posgrado, es el tutor quien debe presentar las credenciales y las publicaciones respectivas que apoyan la propuesta. Esto se debe complementar con los *curricula* (Cap.12) en los Anexos.

Es necesario incluir los nombres y grados de las personas del grupo o equipo de investigación, de tal manera que los evaluadores y administrativos se percaten del nivel de entrenamiento y jerarquía científica del grupo. En los países de América Latina, es común usar el título de 'Profesor' para indicar la profesión de maestro o de un interino dedicado a la enseñanza. Sin embargo, dentro del sistema científico internacional, 'Profesor' es el rango más alto que puede alcanzar un investigador universitario, equivalente a 'Catedrático'. Por tanto, en ciencia 'Profesor' debe reservarse solo para investigadores consolidados de alto rango. Otro error común en los países latinoamericanos es el de usar el rango de 'Doctor' para profesionales en medicina, farmacia, microbiología y odontología, cuando en realidad se trata de grados de licenciatura. En el contexto científico, 'Doctor' (equivalente a Ph.D.) solo se usa para rangos académicos, no profesionales. Aunque los estudiantes de doctorado pueden tener maestrías, por lo general esto no se indica ya que se entiende que son graduados universitarios. En algunos países los técnicos (llamados también 'Ingenieros'), tienen grados académicos de maestría y doctorado.

Es importante señalar los logros reales y la fortaleza del grupo de investigación. Sin embargo, en ciencia, al igual que en otras disciplinas, hay que conocer la idiosincrasia, para no faltar el respeto, al mismo tiempo que no se peque de pedantería. Muchas de estas tradiciones son sutiles y no se mencionan, pero son importantes. Así, en una propuesta de investigación es necesario mantener las jerarquías (ej. líder, responsable de proyecto, miembro de grupo, técnico, posdoctorando, estudiante, etc.), de tal manera que los evaluadores y autoridades pertinentes, sepan a quién dirigirse y determinar el rango de los responsables en cada grupo. Por lo general es el líder del proyecto quien mantiene la comunicación directa con las autoridades. En otros casos, son todos los responsables de grupo. Esto depende de cada agencia.

En una misiva destinada a un evaluador, científico, editor, autoridad o persona desconocida, es necesario dirigirse a ella de acuerdo con el rango pertinente (Prof., Dr., MSc., Lic., Sr., Sra., etc.). Sin embargo, cuando se firma esa misiva es conveniente usar solo el nombre propio (Juan, Jacinto, etc., o a lo sumo el Juan Pérez, Jacinto Chanto, etc.), sin incluir los grados académicos, pues a las luces de la tradición científica, aparenta pedantería, lo que disminuye el prestigio. Lo mismo funciona para el currículo: una hoja

de vida excesivamente larga demuestra pedantería. En esos casos es mejor un currículum abreviado (una o dos páginas) que muestre los logros de los últimos cinco años. A menos de que las instrucciones del proyecto especifiquen lo contrario, los únicos *currícula* que deben adjuntarse en los anexos de la propuesta son el del líder y de los responsables de cada grupo. Hay otros detalles de tradiciones no escritas que se aprenden con el tiempo y durante las interacciones.

5.17 Condiciones éticas y legales

En la actualidad toda propuesta de investigación tiene la obligación a describir las condiciones éticas y legales en las que se desarrollará el proyecto. Por tanto, hay que hacer las indagaciones respectivas sobre los permisos, así como los comités o instituciones que los otorgan. Es necesario empezar los trámites con suficiente antelación antes de presentar la propuesta. Aunque algunas agencias solicitan los atestados éticos y legales una vez que se apruebe el proyecto, la mayoría los solicitan junto con el proyecto.

En principio, todo proyecto que involucre de manera directa o indirecta seres humanos, animales, embriones y células de cultivos primarios, entre otros, debe suministrar información detallada y evidencia que las condiciones éticas han sido revisadas y aprobadas por una comisión calificada y reconocida (ej. CICUA, Comité ético de las universidades). Las condiciones éticas y legales varían de acuerdo con el tipo de experimento que se propone y son más estrictas cuando involucran directamente a seres humanos, especialmente niños. Por otro lado, son menos estrictas cuando se utilizan líneas celulares o productos animales provenientes de un matadero.

Es necesario describir que la experimentación está de acuerdo con la ley de cada país, los derechos humanos y las condiciones de respeto a los animales. Aquellos proyectos que tengan que ver con el medio ambiente, tienen que demostrar que los experimentos que se proponen no son invasivos ni dañinos para la vida animal o vegetal y que no implican ningún perjuicio para los ecosistemas. Del mismo modo, el uso de organismos, químicos o materiales peligrosos (ej. radioisótopos, patógenos, plagas, carcinógenos, etc.) debe estar regulado y aprobado por las autoridades y organismos competentes. El empleo e intercambio de organismos vivos o material genético (ej. SINAC), también está regulado por las leyes de cada país y las institucionales. Muchas de estas regulaciones requieren convenios entre las partes. En todos los casos hay que aportar pruebas concretas (las que se adjuntan en los Anexos) de que las condiciones éticas y legales se cumplirán al pie de la letra. A continuación, se muestran unos ejemplos.

Para el proyecto: *Efecto del Varespladib sobre la actividad catalítica de las fosfolipasas de los grupos I y II de venenos de serpientes*; se propone la siguiente descripción:

La sangre fresca de humanos se obtendrá del banco de sangre del Hospital México, San José, Costa Rica, y de donadores voluntarios sanos, siguiendo el protocolo

aprobado por el Comité de Ética de Experimentación Humana del CENDEISS (XX-386y), Caja Costarricense del Seguro Social, San José Costa Rica. Todos los donantes de sangre involucrados serán informados sobre el estudio y se les proporcionará una hoja de consentimiento por escrito, el que deberá ser firmado en cada caso. Durante todo el proceso se seguirán los protocolos propuestos en la Declaración de Helsinki de la AMM- Principio Éticos para las Investigaciones Médicas en Seres Humanos, adoptada por la 64^a Asamblea General, 2013.

La experimentación con ratones se realizará siguiendo las pautas del Comité Institucional para el Cuido y Uso de los Animales de la Universidad de Costa Rica (CICUA-0159-16) y de acuerdo con la ley correspondiente (Ley de Bienestar de los Animales de Costa Rica; ley 9458). Los ratones se alojarán en las instalaciones de animales de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica los que se mantendrán en jaulas con no más de cuatro individuos, con comida y agua ad libitum bajo condiciones de bioseguridad. Al término de los experimentos los ratones serán sacrificados por eutanasia, siguiendo las recomendaciones generales descritas en La Eutanasia en los Animales de Laboratorio (Research In Surgery. Suplemento: 5. Julio 1990).

*Los venenos de las serpientes *Crotalus durissus* y *Bothrops asper* se obtendrán de animales vivos en cautiverio destinados a la producción de veneno para la producción de sueros antiofídico de acuerdo con el permiso concedido por el Ministerio de Salud de Costa Rica (UMEEPX-98), y de acuerdo a la Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317 del 30 de octubre de 1992 y sus reformas; el Reglamento a la Ley de Biodiversidad, Decreto Ejecutivo N° 34433-MINAE del 11 de marzo del 2008. Todos los animales serán mantenidos manipulados de acuerdo a los protocolos aprobados por Instituto Clodomiro Picado de la Universidad de Costa Rica (KCIDODP-298).*

En cada caso se necesita mencionar las agencias que conceden el permiso, los protocolos que se siguen y las leyes respectivas, incluyendo los códigos correspondientes. Las notas de los comités comúnmente se adjuntan en los anexos. Muchas agencias y organizaciones dan seguimiento al curso del proyecto y se mantienen vigilantes sobre las condiciones éticas. Además, es frecuente que envíen emisarios a confirmar el funcionamiento y la existencia de los comités respectivos y de los procesos, por lo que hay que tener cuidado cuando se detallan estos aspectos en la propuesta.

Un aspecto legal relevante, son los convenios entre grupos de investigación, los que deben contemplar el “Acuerdo de Transferencia de Materiales” conocidos como MTA (*Materials Transfer Agreement*). El MTA es un contrato entre una parte proveedora de los materiales (ej. recursos genéticos, biológicos, etc.) y una parte receptora que solicita recursos. Sirve para asegurarse de la legalidad de la adquisición de los recursos, la trazabilidad de los intercambios de esos recursos, la transparencia y la necesidad de poder responder a toda demanda sobre el origen y la propiedad del material. Generalmente están enmarcados dentro de una ley nacional o una regulación institucional (ej. las universidades) que regula el acceso y los intercambios de recursos biológicos (ej. bacterias, células, plantas) o materiales (ej. ADN; toxinas, enzimas).

moléculas) para investigación. Este contrato debe obtenerse de las oficinas legales correspondientes de cada institución.

5.18 Cronograma

El cronograma es una parte esencial de todo proyecto de investigación. Aunque hay muchas formas de proponerlo, se recomienda hacerlo a manera de una tabla descriptiva. A continuación (Fig.5.7), se propone un ejemplo de cronograma para el proyecto: *Brucelosis: una enfermedad humana desatendida que requiere de la identificación de moléculas blanco que puedan servir para el diagnóstico, el tratamiento y el desarrollo de vacunas.*

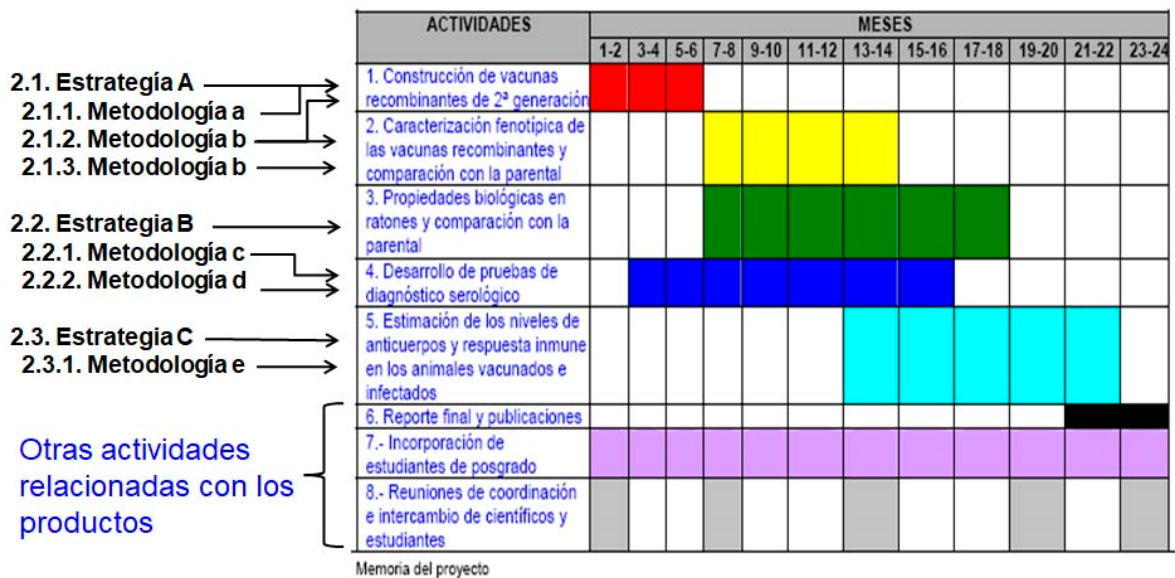


Figura 5.7: Ejemplo de un cronograma general, en forma de cuadro, para una propuesta de proyecto de investigación. Se indica una lista de actividades y su duración proyectada.

La forma más fácil de construir un cronograma es diseñarlo por 'actividades', las que van de la mano con el tiempo. El número de actividades varía de acuerdo con cada propuesta, pero se recomienda que no sean más de 20; de otra manera la tabla se vuelve complicada y poco comprensiva. De 5 a 10 actividades, es un número que los revisores pueden leer y evaluar sin problema.

Las actividades son un estimado de las acciones concretas que se deben realizar en el tiempo. Es decir, son un plan de acción en el tiempo. El cronograma tiene que seguir un orden lógico, el que puede traslaparse. El tiempo no debe incluirse con nombres de meses (enero, febrero, marzo etc.) y mucho menos fechas. Hay que recordar que es un proyecto, y su inicio depende de la aprobación del mismo. La forma más sencilla es dividir el tiempo en meses, bimestres, trimestres, cuatrimestres, etc. Por lo común los proyectos van de uno a no más de cinco años. El ejemplo de la Fig.5.7 corresponde a un

proyecto para 24 meses (dos años) los que fueron divididos en bimestres, creando doce casillas.

Aunque la lista de actividades tiene un orden lógico, ellas pueden presentar traslape en el tiempo (ej. actividades '2, 3, 4 y 5') e incluso algunas pueden proponerse durante todo el proyecto (ej. actividad '7'), otras solo al inicio del proyecto (ej. actividad '1'), mientras otras al final (ej. actividad '6'). Las casillas se rellenan con un solo color o de diferentes colores, dependiendo de la claridad que se quiera lograr. Aunque los colores ayudan a visualizar, los tonos grises son más sobrios. Los elementos a la izquierda de la tabla, en negro (estrategias y metodologías) solamente son para ilustrar el ejemplo y no son parte del cronograma en cuestión. Como puede apreciarse en el ejemplo, las actividades tienen relación directa con las estrategias y las metodologías, las que, en este caso y por claridad, corresponden temporalmente con las estrategias; sin embargo, no debe ser así necesariamente y podría ser que una estrategia determinada (ej. 'Estrategia A') fuera transversal para todas las actividades. Del mismo modo, las metodologías pueden ser transversales y ubicarse en diferentes actividades.

Al igual que cualquier tabla, esta puede incluir notas al pie para aclarar algún aspecto. Así, algunos proyectos colaborativos solicitan incluir los grupos involucrados en las diferentes actividades. Para eso se puede poner al pie de la tabla notas, tales como: a) La actividad '1' será realizada por el grupo 2. b) La actividad 2 ser realizada por los grupos 1 y 3. C), etc.

Se entiende que el cronograma no está 'escrito en piedra' y este puede variar de acuerdo a como se desarrolle el proyecto, si se llegara a aprobar. Por tanto, el cronograma de una propuesta es tan solo una guía para que los evaluadores se percaten del tiempo que se propone para cada actividad y determinen si esto es realista. En mi experiencia, algunos proyectos son rechazados por el simple hecho de no ser realistas en relación con el tiempo. En ese sentido hay que tener cuidado de no someter proyectos demasiado ambiciosos, cuyos objetivos no puedan cumplirse en el tiempo propuesto. En ese caso la experiencia y madurez de los investigadores es crucial, pues ellos conocen las dificultades y el tiempo que toma la investigación.

5.19 Solicitud y justificación del presupuesto

Todos los proyectos de investigación requieren de un presupuesto, ya sea que este se solicite o no. En el caso de un anteproyecto de graduación de licenciatura, maestría o doctorado, la mayoría de las veces solo se incluye el nombre y el número del proyecto ya aprobado, bajo el que se trabajará. Por lo general este proyecto está bajo el liderazgo del tutor, quien coordina la investigación del estudiante. Existen algunas agencias especializadas para posdoctorados. En estos casos son los posdoctorandos quienes escriben un proyecto en el que solicitan dinero para su pasantía e investigación, la que va de uno a tres años en algún laboratorio bajo la dirección de un tutor.

Al igual que el cronograma, el presupuesto debe establecerse en una tabla, pues es la manera más sencilla de visualizarlo. El presupuesto tiene que elaborarse de

acuerdo con el estilo de la agencia y siguiendo las instrucciones. Algunas agencias solicitan que el presupuesto se establezca por grupo de investigación. En este sentido es importante que se tome un acuerdo entre las partes sobre los montos y las maneras que se va a distribuir el presupuesto. En algunos casos, la agencia proporciona todos los fondos al investigador líder, el que a su vez distribuye los fondos entre los grupos. En otros casos, es la agencia la que distribuye el presupuesto entre los diferentes grupos. En esos casos, cada grupo debe detallar la oficina que administrará los fondos. Aunque algunas organizaciones solicitan que el presupuesto se establezca por actividad, la mayoría solo lo pide por *ítem*, es decir por los segmentos individuales de un conjunto dado. La Fig.5.8 muestra un ejemplo:

Items	Primer semestre	Segundo semestre	Tercer semestre	Cuarto semestre	Total
Personal	21.000	21.700	22.400	23.100	88.200
Viajes y viáticos	2.800	3.000	3.200	3.400	12.400
Equipos	2.000	2.000			
Consumibles					
• Suministros bacteriológicos	4.500	4.000	2.000	2.000	12.500
• Cristalería y material de plástico	3.000	3.000	2.000	2.000	10.000
• Reactivos para cromatografía y proteómica	8.000	8.300	8.600	5.000	29.900
• Reactivos para biología molecular	6000	6000	12000		
• Reactivos químicos y biológicos (enzimas, Moabs etc.)	2.000	1.000	500	500	4.000
• Subtotales consumibles	25.700	24.300	15.100	11.000	76.100
• Animales y cuidado de animales	4.000	4.500	4.500	0	13.000
• Varios	3000	3100	3200	1700	11.000
	58.500	56.600	48.400	39.200	202.700
Gastos de administración (<i>Overhead</i>)	11.700	11.320	9.680	7.840	40.540
Costo total en Euros	70.200	67.920	58.080	47.040	243.240

Descripción de los principales ítems:

Personal: Postdoctorado, tiempo completo en el proyecto (48 p / mes). Incrementos estimados por año 3%.

Viajes y viáticos. Asistencia a reuniones de coordinación.

Equipo. Computadora (costo e importe cobrado al proyecto: 2,000 euros) para actualizar el *software / hardware* del aparato Bioscreen utilizado en la evaluación del rendimiento *in vitro* de los mutantes.

Consumibles. Reactivos, medios de cultivo, vidrio y artículos de plástico y otros consumibles.

Gastos generales. 20% de los costos totales.

Varios. Mantenimiento de fermentadores y ultracentrifugas.

Figura 5.8: Ejemplo de un presupuesto general, en forma de cuadro, para una propuesta de proyecto de investigación. Se indican desgloses con respecto a *ítems* o partidas y con respecto a los tiempos de ejecución.

Para hacer el presupuesto es importante tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Investigar qué cosas financia la agencia y qué cosas no financia
- Investigar cuál es el máximo y la media de dinero que proporciona la agencia
- El presupuesto debe ser realista
- El presupuesto debe reflejar las calificaciones y necesidades de los grupos
- Detallar de manera general cada *ítem*
- Detallar los equipos de mayor costo, dando alternativas de compra
- Detallar y justificar al personal y a los estudiantes
- Detallar los viajes posibles a congresos y visitas
- Justificar por qué es necesario cada elemento

- Describir la oficina administrativa que manejará los fondos e indicar los costos por administración (*overhead*)

Es frecuente que los proyectos sean rechazados por establecer un presupuesto poco realista. Una agencia o institución no puede dar más dinero que el que se especifica en las instrucciones. Se supone que el dinero que se solicita es el pertinente para realizar el proyecto, por tanto, la agencia lo rechaza por *default*. Por el contrario, si se pide poco, la agencia asume que los investigadores no son realistas y que la insuficiencia de fondos hará fracasar el proyecto. Solicitar cosas que la agencia no apoya es un error. Por ejemplo, si la agencia no financia salarios para investigadores, se acorta el presupuesto o bien la propuesta es rechazada. Por tanto, es necesario averiguar tanto los montos que da la agencia, como las cosas que financia y las que no apoya.

A menos de que sean un reactivo o un material muy caro o exclusivo (ej. 10% del presupuesto), la mayoría de las agencias no piden detalle sobre materiales, reactivos químicos y biológicos, por lo que no es necesario describirlos, solo indicarlos de forma general. Casi siempre hay que describir los equipos de mayor costo (ej. que alcancen más del 10% del presupuesto), así como los salarios y las becas del personal y de los estudiantes que se contraten, siempre y cuando la agencia lo permita. En estos casos hay que hacerlo de acuerdo con las leyes de cada país y las reglas de la institución. Algunas agencias piden más detalle, mientras otras menos. Siempre se pueden agregar explicaciones al pie de la tabla de presupuesto, tal y como se indica en el ejemplo anterior (Fig. 5.8). Este es el momento para describir las condiciones de la oficina que manejará el presupuesto. Por ejemplo:

La oficina que manejará los fondos será Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación, la que fue creada en 1988 como un mecanismo para la promoción y gestión de los proyectos de investigación asociado con proyectos inscritos en la Universidad de Costa Rica. Es un mecanismo de administración financiera establecido en el los Lineamientos de Vinculación Remunerada con el Sector Externo aprobado y modificado en sesión 4511-01 del Consejo Universitario y plenamente legitimada por la ley 7.169 de la Promoción del Desarrollo Tecnológico y Científico de la República de Costa Rica.

Dirección: 100 m. Este y 200 m. Norte de la rotonda "Fuente de la Hispanidad" San Pedro de Montes de Oca.

Teléfono: (506) 2511-1777; Correo electrónico:

johanna.chanto@fundacionucr.ac.cr. Web: <https://fundacionucr.ac.cr/>

Raramente, una agencia dona dinero para investigación directamente a personas físicas. En prácticamente todos los casos se necesita una certificación que de fe de la oficina que se encargará de administrar los fondos, con el *overhead* (comisión por administrar) correspondiente. Finalmente, toda propuesta científica debe hacerse dentro de los parámetros éticos y legales pertinentes, por lo que hay que informarse con anterioridad sobre las restricciones y las leyes respectivas.

5.20 Anexos

Esta sección sirve para adjuntar todos los documentos necesarios que dan fe y prueban las aseveraciones que se hacen en los apartados anteriores. Hay que procurar que no sean voluminosos, por lo que hay que adjuntar exclusivamente los documentos necesarios que pide la agencia u organización, los que incluyen siguientes categorías:

- Currículo abreviado (no más de dos páginas) del líder y de los responsables de cada grupo
- Notas de aprobación sobre las condiciones éticas y legales, firmadas y selladas por las autoridades respectivas
- Proformas de equipos grandes y de otras condiciones necesarias para justificar el presupuesto
- Copias de los acuerdos de transferencia de materiales (ATM) debidamente firmados por el líder y los responsables de los grupos y si fuera necesario por las oficinas legales
- Copia de los acuerdos y convenios entre las partes
- Carta de la autoridad respectiva que certifica que ese proyecto se puede realizar en las instituciones de los participantes
- Cualquier otro documento o certificación que la agencia o institución solicite respecto al proyecto

En caso que la agencia no pida documentos probatorios, entonces hay que agregar una oración en el apartado de condiciones éticas y legales que indique que 'todos los documentos éticos y legales están a la disposición de los interesados y que ellos serán enviados en el caso de ser solicitados por la agencia o por el oficial pertinente'.

Capítulo 6

La publicación científica

Bruno Lomonte

6.1 La publicación científica y sus diversos tipos

La investigación científica tiene como finalidad obtener nuevos conocimientos que amplíen nuestra comprensión de la naturaleza. Dichos conocimientos se comparten mediante las publicaciones científicas, un repositorio de información invaluable para la humanidad. Desde la aparición de las primeras revistas científicas, en la Europa del siglo XVII (Capítulo 2), estas se convirtieron en el principal medio de difusión del conocimiento científico original generado por las investigaciones, sumándose a los libros clásicos ya existentes.

Una de las principales características que diferencia a las publicaciones científicas de otros tipos de información publicada, es el hecho de que las primeras conllevan procesos de evaluación independiente por parte de 'pares' o 'semejantes' expertos en el tema (*peer review*). Esto representa una especie de filtro cuyo propósito es contribuir a elevar la calidad de la información comunicada, rechazando aquella que - en el criterio de los expertos consultados - carece de rigurosidad experimental, claridad, o que se extralimita en la especulación, apartándose de los principios esenciales del Método Científico (Capítulo 4). De hecho, cuando los investigadores han reunido información original adecuada y suficiente para elaborar una comunicación publicable, saben que la misma va a ser por pares evaluada para determinar su mérito y calidad, antes de alcanzar la aceptación final por una determinada revista. Los detalles del proceso de publicación serán descritos más adelante (sección 6.6).

Se deduce de lo anterior que los dos motivos principales que llevan a los investigadores a publicar son: **(a)** el deseo de compartir sus hallazgos y contribuir al conocimiento científico universal; y **(b)** el aceptar someterse a un proceso de retroalimentación por parte de evaluadores expertos independientes, para alcanzar una mayor rigurosidad científica. Adicionalmente, se puede señalar: **(c)** la importancia que poseen las publicaciones en la construcción de una carrera científica y en un *curriculum vitae* de prestigio (Capítulo 12), que implique un reconocimiento por parte de la comunidad de investigadores en un campo, y **(d)** el alcanzar incentivos o subsidios usualmente otorgados a la actividad investigativa, para avanzar en una carrera científica.

Es evidente que algunos de los factores arriba señalados hacen que la presión por publicar sea fuerte, especialmente en los entornos altamente competitivos de las

naciones con mayor desarrollo en ciencias. A modo de humor, se ha acuñado la frase en inglés '*publish or perish*' (publica o perece), que refleja precisamente este problema (Fig.6.1). Esta presión tiene consecuencias muy conocidas, tanto positivas como negativas. Entre las segundas, puede afectar gravemente la calidad de la investigación, o inducir al fraude y a conductas éticamente inaceptables.



Figura 6.1: 'Publica o perece' (*publish or perish*) es una frase jocosa ampliamente integrada al entorno académico de las instituciones en donde se realiza investigación científica muy competitiva. Imágenes: <https://image.spreadshirtmedia.net/image-server/v1/products>.

Existen diversos tipos de publicaciones científicas con características distintivas en su propósito y formato (Cuadro 6.1). La gran mayoría de las publicaciones que se realizan en la época actual corresponden a investigaciones experimentales, aunque también las hay observacionales. En las primeras, usualmente se aborda una pregunta o problema particular, se plantea una hipótesis, y se diseña y ejecuta una serie de experimentos cuyos resultados permiten contestar, o al menos avanzar sustancialmente hacia la respuesta a dicha pregunta. Podemos describir tal tipo de artículo como una pieza relativamente completa de información sobre una pregunta, que realiza un aporte novedoso al cuerpo de conocimientos pre-existentes sobre el tema en cuestión.

Cuadro 6.1: Tipos de publicaciones científicas

En revistas	
Tipo/formato	Nombres en las revistas en inglés
Artículo experimental/original	<i>Research article, Original article</i>
Artículo de revisión	<i>Review</i>
Comunicación breve	<i>Note, Short communication</i>
Carta al editor	<i>Letter to the editor</i>
Caso clínico	<i>Clinical case, Clinical report</i>
En libros	
Libro	<i>Book</i>
Capítulo de libro	<i>Book chapter</i>

La 'Comunicación breve' es una modalidad de artículo de investigación experimental u observacional original, pero de extensión limitada y enfoque puntual. No

todas las revistas científicas poseen esta modalidad entre sus opciones de publicación. Cuando se utiliza, generalmente se describe un hallazgo muy puntual, pero de impacto en su campo (Fig.6.2) con el fin de divulgarlo rápidamente. Estas 'Short communications' poseen un límite más restringido de extensión y número de figuras o cuadros, por su naturaleza puntual.

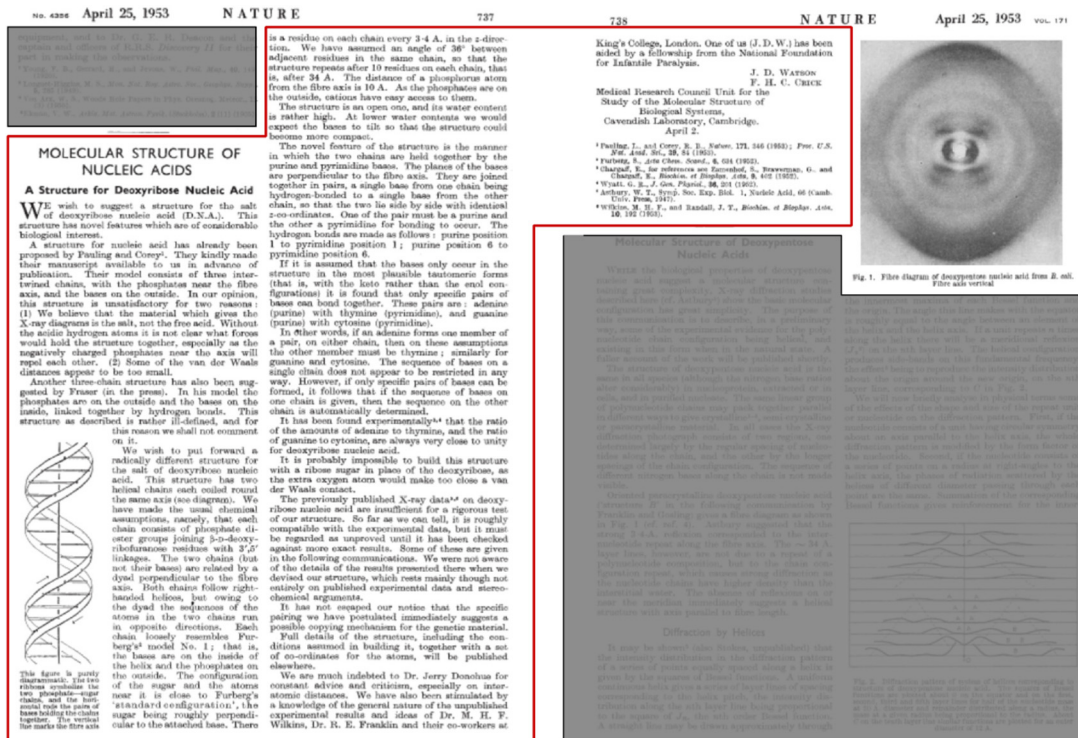


Figura 6.2: La histórica publicación de Watson y Crick que descifró la estructura en doble hélice del ADN ocupó poco más de una página y dos figuras, en la revista *Nature* del 25 de abril de 1953.

En los artículos de revisión, se realiza una síntesis o resumen del estado actual del conocimiento en un determinado tema, pudiéndose también discutir y plantear sus nuevas avenidas futuras de investigación o nuevas hipótesis. El valor de estos artículos radica en la integración de una gran cantidad de información a partir de la literatura experimental u observacional original (por lo que usualmente poseen un gran número de referencias bibliográficas). Esto facilita considerablemente la actualización por parte de los lectores. Lo usual es que los autores de un artículo de revisión sean investigadores que han realizado contribuciones sustanciales en el desarrollo del conocimiento sobre el tema en cuestión, y es común que sean invitados por los editores de una revista. Es de esperar que su visión y dominio de un determinado tema sea de mayor peso y calidad, en comparación con autores que elaboren una revisión sin haber sido partícipes directos de su desarrollo a través de la investigación experimental original. La publicación de capítulos en libros posee características muy similares a las de un artículo de revisión,

aunque generalmente se distingue por tener una mayor holgura en cuanto a su extensión, número de figuras y cuadros.

Otra modalidad de publicación que existe en algunas revistas es la 'Carta al Editor' (a veces también conocida como '*Comments*'). En estas notas muy breves, se permite realizar algún comentario, crítica, o ampliación de algún punto específico, sobre una publicación reciente en la misma revista. En tales casos, la carta al editor va acompañada de una breve nota de réplica elaborada por los autores del trabajo referido. Las 'cartas' pueden plantear algún debate interesante alrededor de un tema pertinente a la especialidad de la revista, o señalar críticas importantes sobre un artículo específico, por ejemplo. Por su naturaleza, tanto las 'cartas' como sus correspondientes réplicas deben conducirse dentro de un marco muy estricto de respeto entre los autores y de argumentación científica objetiva.

En el campo biomédico, algunas publicaciones utilizan la modalidad de 'Caso clínico', la cual consiste en comunicar casos médicos inusuales, de especial interés, en forma breve. Este tipo de notas cortas frecuentemente va enfocado a llamar la atención sobre casos de enfermedades nuevas o re-emergentes, por ejemplo, lanzando una alerta epidemiológica particular. Estos artículos cortos también pueden tener un enfoque de naturaleza educativa en una determinada especialidad médica.

Aunque pueda parecer obvio señalarlo, existe una variedad de formas de comunicación que no se consideran como publicaciones científicas formales. Entre estas podemos citar los artículos periodísticos, entrevistas, documentales, folletos de divulgación, *blogs* u otros materiales informales colocados en la *web*. La razón fundamental es simple, ya que carecen de un proceso de evaluación por pares (*peer review*) de la información, además de que por su naturaleza, persiguen otras finalidades distintas a las de una publicación científica. Estas formas de comunicación poseen relevancia para divulgar información a la población general. Asimismo, los resúmenes (*Abstracts*) de ponencias presentadas en congresos y simposios no reúnen las características de una publicación científica formal (a pesar de que muchas veces se publican como parte de la divulgación de un congreso). Esto se debe a que la inscripción de resúmenes en congresos no conlleva un arbitraje o evaluación por pares. Normalmente, dichos resúmenes presentan adelantos de proyectos de investigación que posteriormente conducen a la elaboración de una o más publicaciones o artículos formales.

6.2 Estructura del artículo científico

Aunque existen variaciones en la estructura u organización de los artículos científicos publicados en revistas, la estructura conocida como 'IMRaD' es la forma más predominante. Estas siglas provienen del nombre de las secciones principales que componen el artículo, a saber: Introucción, Métodos, Resultados y Discusión (la 'a' minúscula viene del inglés *and*). Todo artículo debe tener un título e identificar a sus autores (no se aceptan artículos anónimos) con sus correspondientes afiliaciones institucionales y datos de contacto. En los artículos con múltiples autores (una vasta

proporción de la literatura científica actual) se debe indicar el autor a quien debe dirigirse la correspondencia editorial. Además, antes del propio cuerpo del artículo, se proporciona un conjunto de términos o 'palabras clave' (*keywords*) utilizadas en los sistemas de búsqueda electrónica de información, así como un título abreviado para el artículo (*running title, short title*) que es frecuentemente utilizado por las revistas para el encabezado de las páginas, entre otros detalles que varían entre estas.

La Introducción de un artículo debe presentar los antecedentes de mayor relevancia para el tema o pregunta que aborda el estudio, formalmente respaldados por las referencias pertinentes. Una buena introducción resume en poco espacio el estado del conocimiento en cuanto al problema planteado, y finaliza describiendo las razones por las cuales se plantea la pregunta, el objetivo del trabajo y su hipótesis. La introducción puede señalar aspectos de la estrategia o abordaje utilizado en el estudio, aunque usualmente estos quedan implícitos en la sección de Métodos. Una buena introducción lleva al lector desde lo general sobre el tema (que se va circunscribiendo gradualmente) hasta enfocarlo en el punto específico del estudio (Fig.6.3). Algunos autores finalizan la Introducción con una breve mención que adelanta los principales hallazgos del estudio. Sin embargo, en sentido estricto, esta práctica no corresponde a la estructura clásica de la sección, y además genera una cierta redundancia, al repetir la información de las correspondientes secciones posteriores.

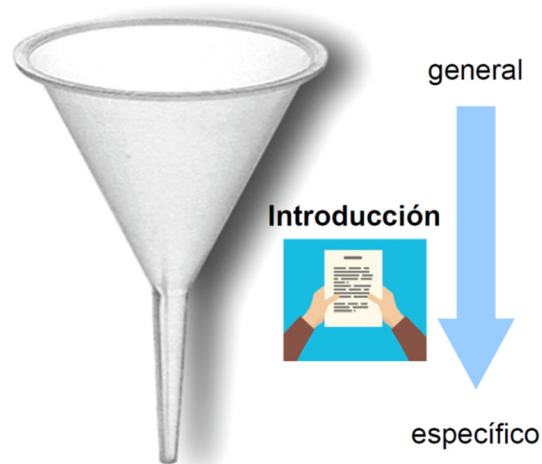


Figura 6.3: En analogía con la forma cada vez más estrecha de un embudo, una buena introducción conduce al lector desde una información muy general sobre el tema (que se va circunscribiendo gradualmente) hasta enfocarlo finalmente en el punto específico del estudio.

La sección de 'Materiales y Métodos' es de gran importancia para el artículo, pues se debe describir con claridad las muestras y materiales empleados, la forma en que fueron realizados los experimentos u observaciones, procesados los datos, y analizada su significancia mediante pruebas estadísticas. La finalidad de esta sección es permitir

que los experimentos y sus resultados puedan ser reproducidos por otros investigadores. La descripción de los métodos debe abarcar solamente sus detalles relevantes, y obviar aquellos detalles que son triviales o innecesarios. Muchos métodos pueden ser referidos a la literatura existente, aunque en tales casos puede hacerse una descripción somera de los principales detalles, para mantener la claridad para el lector.

La sección de Resultados es donde se describen, en una secuencia lógica, los distintos hallazgos del estudio. A menos de que se utilice el estilo combinado de 'Resultados y Discusión' como una sola sección del artículo (de uso en algunas revistas), en la sección de Resultados solo se describen estos, sin todavía comentarlos o discutirlos, ya que esto se realiza posteriormente, en la sección de Discusión. Es importante revisar la concordancia entre lo descrito en Métodos y lo descrito en Resultados, ya que cada experimento debe tener una relación con sus resultados, y cada resultado debe corresponder con la descripción de un experimento. La sección de Resultados se apoya fuertemente en el uso de figuras (gráficos, fotografías, diagramas) y de cuadros. Estos elementos simplifican y facilitan enormemente la presentación de los resultados, pero con el cuidado de no repetir la información entre el texto y las figuras o cuadros, para no caer en redundancia. La sección de Resultados debe garantizar la reproducibilidad de los hallazgos, los cuales deben ser descritos con absoluta objetividad, sin admitir ningún sesgo. De hecho, esta sección es considerada como la más importante de un artículo, ya que la interpretación de un resultado puede cambiar en el tiempo (según el estado del conocimiento en ese momento), pero el resultado debe ser invariable cuando se reproduce un mismo experimento. Cuando un trabajo es muy extenso, o contiene una cantidad exhaustiva de resultados, se puede recurrir a la utilización del sistema de 'Material suplementario' que ofrecen muchas revistas actuales. Esta opción permite presentar algunos de los resultados de relevancia secundaria para el punto central del artículo, o resultados sumamente extensos, en forma de figuras y cuadros suplementarios que no forman parte del cuerpo principal del artículo, pero que están a disposición en el sitio *web* de la revista, para poder descargarse por los lectores.

La sección final del cuerpo de un artículo es la 'Discusión'. En ella se interpretan los resultados obtenidos y se contrastan a la luz de los conocimientos existentes, para llegar finalmente a una o más conclusiones sobre la pregunta o hipótesis inicialmente planteadas. Además, en la Discusión se pueden incluir críticas o cuestionamientos al conocimiento prevaleciente, así como el replanteamiento de conceptos. Una buena discusión se apoya en resultados sólidos para enfatizar las conclusiones y el mensaje central del artículo. Para finalizar esta sección, a menudo se sugieren nuevas preguntas por investigar en el tema en cuestión (Fig.6.4). En forma inversa a lo comentado sobre la estructura de la sección de 'Introducción', los argumentos de la discusión se construyen conduciendo al lector desde los hallazgos específicos del estudio, ampliando gradualmente hasta sus implicaciones y la formulación de las posibles extrapolaciones o generalizaciones en el campo particular de la investigación.

El 'Título' de un artículo, así como el 'Resumen' (*Abstract*), son componentes muy importantes de la publicación, pese a su menor magnitud con respecto al texto completo. En la práctica, un buen título logra captar la atención del lector en un campo dado, quien

luego de juzgarlo interesante, recurre al *Abstract* como segundo paso para determinar finalmente la eventual lectura del trabajo completo. Se deduce que la escogencia del título de un artículo es lo más importante (junto con las palabras clave) para captar la atención y para que el trabajo sea detectado en los sistemas de búsqueda electrónica de publicaciones científicas en las mayores bases de datos internacionales. Como regla general, el título debe procurar ser lo más breve, conciso, e interesante, pero a la vez debe describir con precisión el contenido real y el aporte central del artículo. Es decir, un título podría ser sumamente interesante, pero sin cumplir con el requisito de centrarse en el contenido y aporte reales del trabajo. En el caso contrario, un título podría describir con gran precisión el contenido y aporte real del trabajo, pero estando escrito en una forma que despierte poco o ningún interés al lector. El arte de lograr un buen título consiste en combinar ambos requisitos. Muchos autores dejan como último paso escoger el título de un manuscrito, una vez que se tiene la primera visión completa de este.



Figura 6.4: En la investigación científica, cada pregunta que se contesta abre las puertas a nuevas preguntas y posibilidades, en un proceso continuo hacia la expansión del conocimiento. Imagen: <https://proyctohuci.com/en/open-door-intensive-care-unit-view-of/>

Al igual que el 'Título', el 'Resumen' o *Abstract* del artículo tiene un papel preponderante en la captación de la atención de los potenciales lectores. El principal reto que plantea la redacción de un buen resumen es poder describir en un límite muy restringido de palabras (usualmente unas 200-250, según cada revista) todo lo esencial del artículo: qué se hizo (y por qué), qué se encontró, y qué se concluyó. En consecuencia, la redacción del resumen conlleva un fuerte ejercicio de síntesis, donde cada palabra cuenta y, por tanto, debe ser seleccionada con gran precisión. Un aspecto a considerar es que el resumen de un artículo publicado estará en todos los casos disponible en la

web, independientemente del tipo de acceso (libre o restringido) que ofrezca la revista donde fue publicado. Esta es otra razón importante para dedicar suficiente esfuerzo a la elaboración de un buen resumen. Además, no debe olvidarse que este es la 'puerta de entrada' al trabajo y, como si fuera una vitrina, debe escribirse de modo interesante, preciso, específico, claro y fácil de entender. Para los editores (y los evaluadores) del manuscrito, el *Abstract* es uno de los factores más influyentes en el criterio inicial que se formen a la hora de considerar su publicación.

6.3 Secciones adicionales al cuerpo principal del artículo científico

Con algunas variaciones y diferencias de forma entre las revistas científicas, los artículos poseen algunas secciones adicionales que comentaremos a continuación. La forma particular que estas adopten debe ser consultada en las 'Instrucciones para los Autores' de cada revista, pero siempre se tiene una sección de 'Bibliografía' o 'Referencias', y de 'Agradecimientos' (*Acknowledgements*). En algunos casos, las 'Fuentes de financiación' (*Funding*) se colocan en una sección independiente de los agradecimientos. Y en forma creciente, cada vez es más común incluir una sección para la declaración de posibles conflictos de interés (*Conflicts of Interest, Ethical Statement, Competing Interests*), así como otra para detallar las contribuciones individuales de los autores (*Author Contributions*). Algunas revistas solicitan elaborar una lista de las abreviaturas o acrónimos utilizados en el artículo, aunque en minoría - es más común definirlos en el texto, en su primera aparición.

Las Referencias se deben presentar en el formato indicado por las revistas, y en este tema llama la atención el hecho de que no ha sido posible lograr un consenso universal en cuanto al estilo, a pesar de múltiples convenciones de editores realizadas a lo largo de la historia de la publicación científica. Existen programas de cómputo para el manejo de las referencias y el cambio automatizado de sus formatos o estilos, por ej. *Mendeley™*, *Zotero™*, *EndNote™*, o *RefWorks™*, entre otros. Su uso puede simplificar significativamente el tiempo y esfuerzo invertido en la presentación de la bibliografía de un artículo. Sin embargo, los procesos automatizados también pueden introducir errores en esta sección, por lo que deben ser utilizados de forma cuidadosa.

Como norma, las referencias que se incluyen en dicha sección, deben haber sido consultadas y verificadas por los autores. Es decir, no se considera correcto el citar un trabajo no consultado, solamente por la indicación indirecta de otro artículo que lo refiere. Esta norma reduce la posibilidad de la perpetuación de errores que podría introducir en la literatura científica la citación inadecuada de referencias no consultadas. Cuando se realiza una afirmación dada en un artículo, es usual respaldarla con una o más referencias pertinentes. En este sentido, es muy importante la selección de las referencias a utilizar. Uno de los errores más comunes al iniciarse en la escritura científica es la utilización de referencias que no son realmente las apropiadas como fuentes directas de la afirmación que se está respaldando. Desde sus inicios, quien escribe debe aprender a reconocer las fuentes directas y originales de la información, distinguiéndolas de menciones indirectas que poco vienen al caso. Si bien es cierto en ocasiones es muy útil (y válido) citar un artículo de revisión sobre un tema, que integra

mucha información de la literatura original, también es posible rescatar a partir de una revisión los trabajos seminales que dan soporte a las afirmaciones que queremos respaldar con la literatura adecuada.

Uno de los problemas que se ha suscitado en relación con el tema de las referencias en los artículos, proviene de la introducción de herramientas bibliométricas (**Capítulo 10**) que utilizan las cifras de citación como un estimador de impacto para las publicaciones. Esto ha causado algunas distorsiones en la selección de las referencias, por ejemplo los abusos de la 'auto-citación', el aumento del número promedio de referencias en los artículos, o la proliferación desmedida de artículos de revisión que persiguen captar mayores cifras de citación y elevar los 'índices de impacto' de algunas revistas (**Capítulo 10**). La solución radica en la ética de los propios investigadores, al seleccionar con toda objetividad las citas que realmente sean pertinentes a su artículo y a las afirmaciones que se desea respaldar.

La sección de 'Agradecimientos' se coloca usualmente al final del cuerpo del artículo (justo antes de la lista de referencias) y consiste en una breve mención de las personas y/o las instituciones que colaboraron en el estudio, pudiéndose o no, a juicio de los autores, detallar su contribución específica. También es frecuente incluir aquí una mención de los apoyos económicos recibidos para el estudio por parte de agencias, instituciones, etc. Sin embargo, algunas revistas separan este aspecto en otra sección específica (*Funding*).

En las investigaciones que se realizan entre varias personas (investigadores, estudiantes, personal de apoyo técnico, colaboradores) es muy importante consensuar -previo al trabajo- las autorías y los agradecimientos. Las decisiones sobre este particular son completamente libres, a juicio de los investigadores, aunque existen una serie de recomendaciones o lineamientos generales que deben tomarse en cuenta. Es recomendable que las personas que van a ser coautores de una publicación científica cumplan con al menos tres criterios básicos:

(a) Haber realizado una contribución sustancial al trabajo, ya sea intelectual o en su ejecución.

(b) Tener la capacidad para enfrentar dudas y consultas sobre el trabajo. Aquí es necesario hacer la salvedad de que, en ciertos estudios multidisciplinarios complejos, que conjugan el aporte de especialistas en campos diversos, no siempre es posible que cada uno de los autores domine la totalidad de aspectos que abarca el estudio.

(c) Aprobar la versión final del manuscrito previo a su envío para eventual publicación. En este sentido debe hacerse hincapié en que el envío de un manuscrito sin el consentimiento de todos y cada uno de los autores, expresado sobre la versión final, constituye una falta a la ética científica y puede tener consecuencias importantes.

Por otra parte, los criterios recomendados para la sección de 'Agradecimientos' incluyen, entre otros, la asistencia técnica durante el estudio, consejos sobre la

investigación, el obsequio o aporte de materiales, ayuda en la preparación o revisión del manuscrito, y las ayudas financieras. Sin embargo, es importante enfatizar que la aceptación de estos lineamientos generales para la decisión entre autorías y agradecimientos son en última instancia una prerrogativa de los autores. Dos de los inconvenientes que se busca evitar a través de los lineamientos generales arriba señalados son:

(a) La autoría 'fantasma' (*ghost authorship*), que se refiere a haber dejado por fuera a un autor que debía haber sido incluido.

(b) la autoría 'obsequio' (*gift authorship*) que se refiere a incluir un autor que no contribuyó significativamente al trabajo.

El propósito de la sección de Contribución de los Autores, que han introducido en forma creciente las revistas, es precisamente solicitar a los investigadores que se especifique el tipo de aporte realizado por cada uno al artículo, aunque esto no garantiza que no puedan ocurrir desavenencias como las señaladas arriba.

La investigación científica es realizada por personas, y por tanto, no se encuentra desligada de todas las características propias de la naturaleza humana, para bien y para mal. No son infrecuentes las historias demostradas de injerencias comerciales, o de otras índoles, en las investigaciones que se publican. Por esta razón, el uso de una sección en donde se declaran los posibles conflictos de interés de los autores es ya prácticamente universal en la actualidad. La declaración de patrocinios por parte de empresas comerciales es útil para alertar al lector de posibles sesgos, y viceversa, la existencia de una relación potencial de interés que no se declara, puede despertar sospechas. Si los autores de un artículo poseen algún potencial conflicto de interés relacionado con el estudio, lo deben declarar en esta sección. En caso contrario, igualmente deben declarar que no lo poseen.

Finalmente, las revistas requieren una declaración en relación con las investigaciones que utilizan animales o sujetos humanos, afirmando que se siguieron protocolos aprobados por los correspondientes comités éticos y especificando los códigos de sus respectivos documentos de aprobación. Algunas revistas utilizan una sección específica para esto, mientras otras acostumbran incorporar esta misma información dentro de la sección de Material y Métodos.

6.4 Redacción científica

¿Cómo determinar si estamos listos para elaborar una publicación científica? En primer lugar, debemos evaluar si hemos reunido información original, suficiente y sólida, que permita incrementar el conocimiento en un tema de investigación específico. De ser así, el siguiente paso es la elaboración de un manuscrito bien estructurado y presentado, siguiendo los lineamientos de la redacción científica.

La redacción científica posee una serie de características particulares que la

diferencian de otras formas de literatura. Escribir un artículo científico no siempre es tarea fácil para quien se inicia, pero es una destreza que se puede aprender, ejercitar, y perfeccionar siguiendo un conjunto de recomendaciones generales. La lectura de artículos de otros autores que nos causan una grata impresión sobre la claridad y estilo de la escritura puede ser un elemento de gran ayuda en nuestro aprendizaje y desarrollo de esta competencia científica.

La redacción de un artículo científico se caracteriza por la simplicidad, buscando evitar las estructuras complejas que involucran frases largas, o que mezclan varias ideas a la vez. La claridad de la redacción es la mayor prioridad. Para lograrla, se utilizan generalmente frases cortas, directas, y con secuencias lógicas, evitando al máximo las florituras y el uso de adjetivos innecesarios o poco informativos. La brevedad y el mínimo de palabras son la regla, así como la escogencia de términos precisos, que eviten las ambigüedades en su interpretación. Es fundamental mantener la uniformidad en los tiempos verbales a la hora de redactar, así como mantener el estilo que se escoja en cuanto a 'voz activa' (observamos que la llama de la candela era azul) o 'voz pasiva' (se observó que la llama de la candela era azul), el cual es de libre escogencia y gusto de los autores. Por último, es primordial lograr una concatenación lógica de las ideas y un verdadero 'hilo conductor' a lo largo de todo el artículo, evitando los saltos bruscos y disconexos entre las partes.

La escritura de un primer borrador requiere ser revisada varias veces, para lo cual se necesita invertir tiempo y esfuerzo. Una excelente práctica para mejorar la claridad de un manuscrito es someterlo a la lectura crítica por parte de alguien externo al grupo de trabajo, en alguna medida conocedor del tema, así como de alguien con base científica pero no afín al tema. Estas revisiones pueden ayudar a detectar frases confusas y otros detalles que frecuentemente no percibimos si estamos demasiado inmersos en nuestra propia redacción. Es muy difícil redactar un texto que sea excelente desde su primer esbozo. El llamado 'bloqueo del escritor' puede ser abordado escribiendo las ideas que se quieren comunicar de un modo preliminar, con imperfecciones, para después abordar nuevamente la redacción y pulirlas. También vale la pena señalar que la prisa no es la mejor aliada de una buena redacción, y que en ocasiones es de ayuda dejar el texto en reposo por unos pocos días y luego retomarlo con mente y ojos frescos. A menudo ello facilita la detección de frases que requerían mejoras evidentes, previamente desapercibidas.

Para ciertos propósitos de divulgación local o regional, la comodidad de expresarnos en nuestra propia lengua simplifica mucho la elaboración de artículos. Sin embargo, si se aspira a la mayor difusión posible de la investigación, el inglés es sin duda la lengua común de las ciencias naturales, y se debe hacer el mejor esfuerzo posible por adaptarnos a esta realidad. Las actitudes de 'nacionalismo científico' en cuanto a los idiomas, que en alguna época suscitaban intensos debates, terminaron cediendo ante la necesidad de una forma común de comunicación, que recayó en el inglés. La ayuda de personas con un alto nivel de conocimiento del inglés, o mejor aún, que este sea su lengua materna, es en extremo valiosa. Alternativamente, existen empresas en la *web* que ofrecen sus servicios para la edición idiomática, aunque sus costos son altos. En

ocasiones, una fuerte limitación en el idioma inglés puede llevar a los investigadores a copiar, en forma prácticamente textual y excesiva, frases y segmentos de trabajos que han sido publicados por otros autores. Esto debe verse con precaución, ya que puede llegar a constituir una forma de plagio. Las mayores empresas editoriales utilizan programas informáticos que analizan las similitudes entre un manuscrito enviado para su consideración, y la literatura existente (por ejemplo *CrossCheck-iThenticate™* u otros). Estos programas de prevención del plagio proporcionan un informe automatizado sobre el grado de repetición de las frases, y pueden ocasionar desaveniencias entre los editores y los autores. Ante la dificultad idiomática, es siempre mejor buscar la ayuda necesaria que caer en la tentación de copiar. En síntesis, se debe hacer el mayor esfuerzo posible por redactar manuscritos que tengan un buen nivel de inglés, ya que las deficiencias en este aspecto pueden dar lugar al rechazo y dar al traste con todo el esfuerzo y dedicación invertidos en una buena investigación.

Otro de los aspectos a cuidar, luego de culminar la redacción de un manuscrito, es la realización de una minuciosa revisión (*proofreading*) de errores tipográficos, ortográficos, y otros detalles de forma. Un manuscrito cuidadosamente revisado causa una excelente impresión durante su evaluación, y viceversa, un trabajo que descuida los detalles de forma puede llevar a prejuicios sobre la calidad de la investigación, y predisponer a los evaluadores.

6.5 Figuras, gráficos, y cuadros

Como se mencionó, la sección de 'Resultados' de un artículo se apoya fuertemente en la presentación de gráficos, figuras, o cuadros. Su elaboración debe ser realizada con la mayor calidad posible en cuanto a su diseño, organización, y detalles. La resolución de las imágenes a utilizar debe ser óptima, y en todo caso nunca menor a la especificada en las instrucciones de cada revista. El formato de los archivos debe apegarse igualmente a dichas instrucciones. El número de figuras y cuadros debe mantenerse en un mínimo indispensable. Debemos recordar que las figuras comunican un mensaje sobre los resultados, y no son simples elementos decorativos, sino una forma muy eficiente de comunicar las ideas centrales de un artículo.

El diseño de las figuras y gráficos debe imaginar las dimensiones reales que tendrán estas imágenes en el formato final de la revista, la cual puede utilizar, por ejemplo, un estilo de dos columnas, o de una. Al momento de diseñar, tenemos que pensar en el aprovechamiento de los espacios, desde la perspectiva de un editor o diagramador del formato final del artículo ya publicado. A continuación, nos referiremos a algunas consideraciones útiles para la elaboración de figuras y gráficos, basadas en los consejos prácticos señalados por algunos especialistas en diseño gráfico (Rolandi *et al.*, 2011).

(a) Diseñe las figuras para su audiencia: con esta frase, Rolandi *et al.* (2011) indican que, así como otras formas de comunicación toman en cuenta las características de la audiencia a la cual se dirigen, igualmente las figuras deben tomar en cuenta este aspecto. Por ejemplo, una figura para una revista muy especializada puede requerir un diseño

distinto en el caso de una revista con una audiencia muy general.

(b) Decida las figuras que utilizará en su manuscrito y enfóquese en su mensaje principal: al momento de crear un bosquejo de la estructura de su artículo, defina cuáles serán las figuras, su secuencia, y su relación con el mensaje o mensajes más importantes que se desea transmitir.

(c) Diseñe con una estructura visual clara: la composición visual debe guiar al lector a través de una secuencia lógica de la información. La imagen debe ser captada con facilidad (no debe estar recargada) y su punto natural de 'entrada', para la mayoría de personas, es desde la esquina superior izquierda (de la misma forma en que leemos), hacia la esquina inferior derecha. Una rejilla imaginaria puede ayudarnos a organizar los espacios entre y alrededor de los elementos que componen la imagen (Fig.6.5).

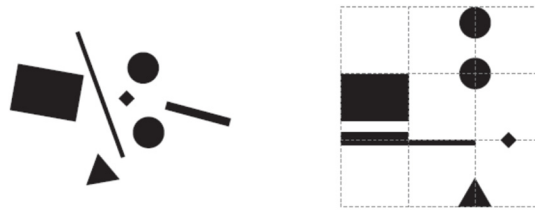


Figura 6.5: Una rejilla imaginaria puede ayudar a organizar los espacios entre y alrededor de los elementos que componen una figura. Tomado de Rolandi *et al.* (2011).

(d) explote los contrastes visuales, pero manteniendo la simplicidad: los contrastes visuales deben realzar la información más importante. Estos contrastes explotan las variaciones en el tamaño, la forma, la posición, la orientación, o el color de un elemento (o grupo de elementos), haciéndolo más prominente o llamativo (Fig.6.6). Debe evitarse la incorporación de varias formas simultáneas de contraste visual, así como el uso de demasiados colores, o información trivial que no cumple un propósito en la comunicación del mensaje de la figura.

(e) Utilice una tipografía clara y legible: el texto incluido en cualquier figura debe ser fácilmente legible con solo una rápida mirada. Para ello es necesario utilizar proporciones adecuadas a la reducción de tamaño que usualmente experimentan las figuras en la diagramación final de un artículo, cuando es publicado. Una forma de lograr mayor legibilidad, además de escoger un adecuado tamaño de la letra, es utilizar tipografías de la familia '*sans-serif*', como la Arial o la Helvetica. En comparación con las tipografías '*serif*' (en las cuales el grosor de las líneas que forman la letra posee regiones variables; ej. Times New Roman), las primeras proveen un efecto visual más claro, especialmente en textos de tamaños pequeños (Fig.6.7). Además, la legibilidad se beneficia de los diseños basados en altos valores de contraste (al menos 70% o superiores) entre la tipografía y su fondo. Debe evitarse la colocación de texto en

regiones cuyos fondos poseen patrones variables de tonos, ya que ello afecta la legibilidad y claridad. Esto es especialmente aplicable a imágenes de microscopía, por ejemplo, u otros tipos de imágenes fotográficas y diagramas.

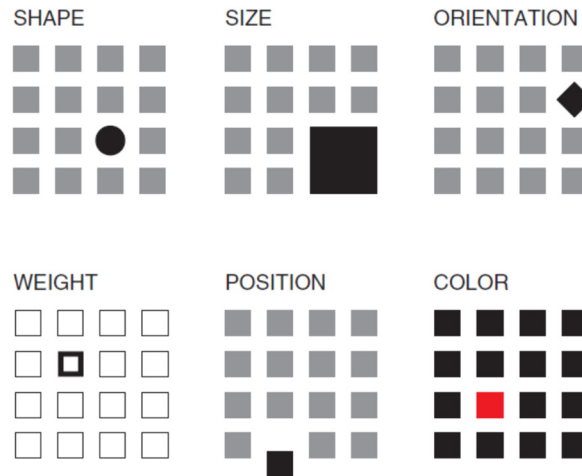


Figura 6.6: Distintos tipos de contrastes visuales que pueden utilizarse para resaltar un elemento relevante en una figura. Tomado de: [Rolandi et al. \(2011\)](#).

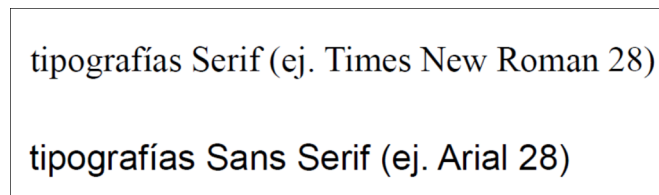


Figura 6.7: Note cómo en un mismo tamaño de letra, las tipografías 'Sans Serif' brindan una mayor legibilidad en comparación con los tipos de letra 'Serif'.

Las figuras que contienen gráficos numéricos deben igualmente elaborarse siguiendo ciertos lineamientos generales. Diversos programas informáticos poseen suficientes funcionalidades para obtener gráficos con calidad para publicación, incluyendo el muy utilizado Excel™, aunque la elaboración de gráficos con mayores grados de sofisticación puede requerir de programas especialmente diseñados para la ilustración científica, como Prism™, Origin™, o SigmaPlot™, entre otros. Un requisito indispensable del programa a utilizar es que tenga capacidad de representar las principales medidas de variabilidad de las determinaciones, tales como la desviación estándar (SD) o el error estándar (SE). Los programas arriba mencionados usualmente incorporan también varias funciones estadísticas básicas que permiten analizar el nivel

de significancia de las diferencias entre dos o más grupos de valores; por ejemplo, la prueba *t* de Student y el análisis de variancia, respectivamente.

Los gráficos de barras (Fig.6.8) son muy útiles para presentar resultados que comparan los valores numéricos (en una escala continua) obtenidos para diferentes tipos de muestras o elementos del experimento (valores discontinuos, o alfanuméricos). Note en el ejemplo la escogencia de un grosor adecuado para las líneas, una escala numérica vertical apropiada para la magnitud de los valores, y una clara distinción en el tono de los dos tipos de barras, blancas y negras (solo a modo de ilustración - no definimos aquí a qué se refieren,). La proporción del texto brinda suficiente legibilidad, y los valores se muestran con su medida de dispersión o barras de error. Podríamos decir que este es un gráfico claro y adecuado para la información que muestra.

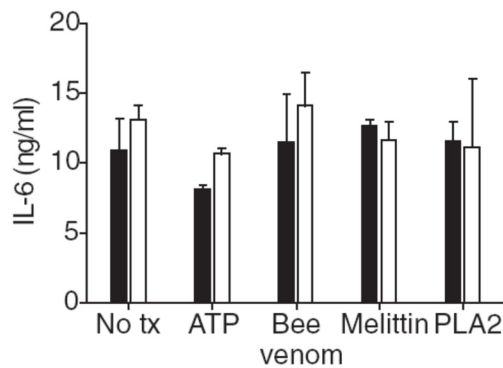


Figura 6.8: Ejemplo del diseño de un gráfico de barras.

Los gráficos de barras se pueden elaborar con mayor grado de sofisticación; por ejemplo, combinándolos con otros elementos gráficos, como diagramas o imágenes, que transmitan rápidamente un mensaje o un significado (Fig.6.9). Note en dicho ejemplo cómo la combinación de los gráficos de barras con los diagramas anatómicos que señalan a las amígdalas (*tonsils*) y al bazo (*spleen*) envía un mensaje visual inmediato al lector. Los diseñadores aprovecharon el color rosa como elemento de contraste para llamar la atención sobre la ubicación de los órganos. Además, diferenciaron las barras "control" (*no virus*) con un tono gris, mientras las otras utilizaron un tono azul discreto. Los triángulos negros colocados bajo el eje horizontal en 'a' envían un mensaje simbólico sobre cantidades crecientes de una sustancia, en el razonamiento convencional de la ilustración científica.

El uso del color en las figuras es una característica que se puede aprovechar, si se sabe utilizar adecuadamente. En épocas anteriores a las tecnologías digitales, el color era un elemento casi prohibitivo, por el alto costo que implicaba hacer impresiones físicas de las revistas. El precio de una sola figura podía implicar un pago de \$600 o más. Con el advenimiento de las versiones electrónicas de los artículos, se han eliminado los cobros adicionales por el uso del color. Esto es una ventaja que se puede explotar, pero una mala escogencia de los colores puede dar al traste con la estética y la funcionalidad

del mensaje que debe transmitir una figura científica. Si observamos las figuras que diseñan los profesionales que trabajan en revistas de alto prestigio (estas a menudo ofrecen sin costo un servicio de diseño, o rediseño, de las figuras que proporcionan los autores) notaremos que escogen colores suaves a la vista, con tonos discretos, que combinan bien entre sí, y que ayudan a transmitir el mensaje deseado (Fig.6.10). Claro está, la mayoría de las revistas no ofrecen un servicio como el mencionado, por lo que los investigadores normalmente deben aprender a elaborar sus propias figuras.

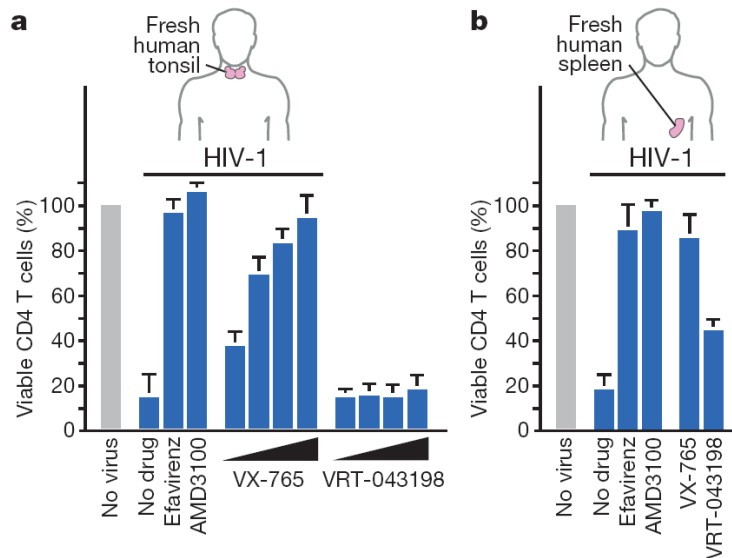


Figura 6.9: Ejemplo de una figura compuesta, con un diseño combinado de gráficos de barras con diagramas o íconos que facilitan la comprensión del mensaje (evitan, en cierta medida, tener que recurrir a los detalles de la leyenda de la figura). Tomado de: Doitsch et al. (2014).

Entre los tipos de gráficos más utilizados en las publicaciones científicas están los gráficos de líneas y símbolos (Fig.6.11). En estos gráficos, se relacionan dos variables numéricas que son continuas (a diferencia de los gráficos de barras). Aunque en ocasiones se utiliza la modalidad de barras para representar una variable numérica continua, esto no es recomendable, dado que crea un efecto visual falso, que no corresponde con la magnitud numérica que se está representando. En otras palabras, cuando la variable a representar es continua (numérica), lo correcto es utilizar la escala 'matemáticamente real' que proporcionan los gráficos de líneas y símbolos (también denominados como 'X vs Y' en los programas de cómputo). Veamos esto con el ejemplo de la Fig.6.11. Si la misma se hubiera elaborado en la modalidad de gráfico de barras, las distancias entre las barras serían iguales, y no reflejarían realmente las diferencias entre las distintas cantidades de muestra probadas en el experimento. En los gráficos de líneas y símbolos, se debe procurar que el tamaño y/o forma de los símbolos sea fácilmente distinguible. En ocasiones, el tener demasiadas líneas (con sus respectivos símbolos) en un mismo gráfico crea demasiada confusión. En tal caso, puede considerarse dividir la información en partes; por ejemplo, creando una lámina compuesta por varios gráficos.

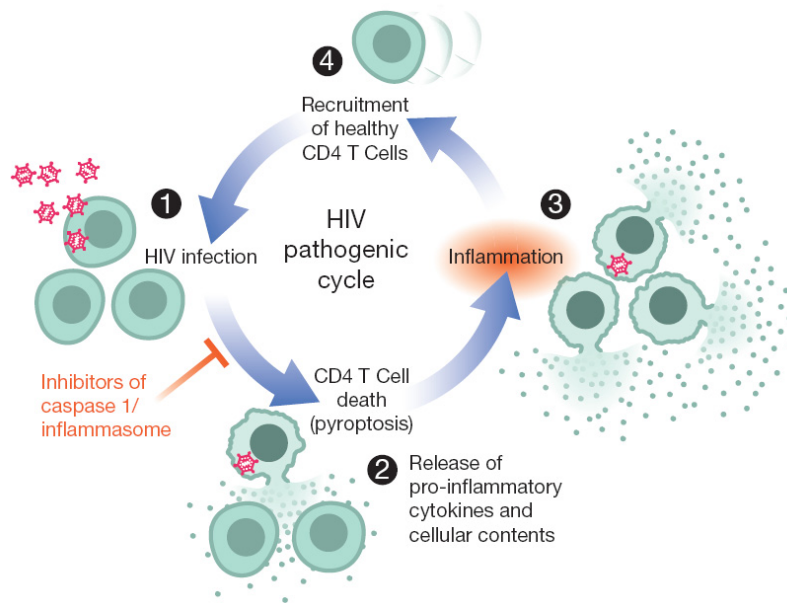


Figura 6.10: Ejemplo de una figura basada en diagramas e íconos, que utiliza el color con moderación, elaborada por diseñadores profesionales de una revista (con base en información proporcionada por los autores). Tomado de: Doitsch et al. (2014).

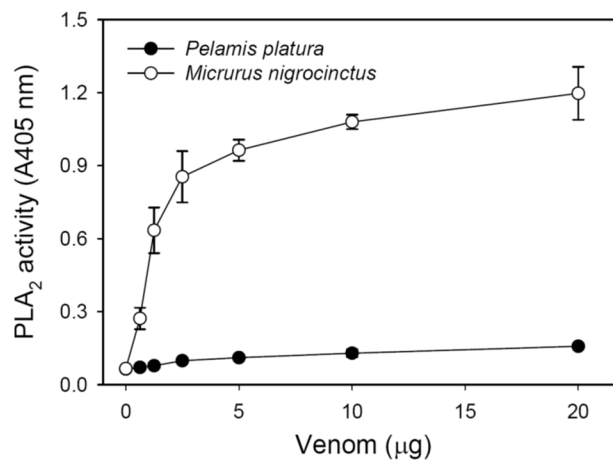


Figura 6.11: Un gráfico sencillo de líneas y símbolos. El significado de cada símbolo puede indicarse en la leyenda de la figura, aunque en ocasiones, cuando el espacio y el diseño lo posibilitan, se puede indicar en la propia figura para evitar recurrir al texto de la leyenda (Lomonte et al., 2014).

Un tipo de figura que se ha vuelto menos común en los artículos modernos, pero que posee un gran valor artístico e informativo, es la ilustración con dibujos 'a mano alzada', una destreza prácticamente obligatoria en épocas clásicas del naturalismo. Este tipo de diagramas, a diferencia de una fotografía, tiene la particularidad de poder sintetizar, resaltar y contrastar ciertas características de modo especial, dándoles menor

o mayor peso, en comparación con el resultado que se obtendría de una imagen fotográfica (Fig.6.12).

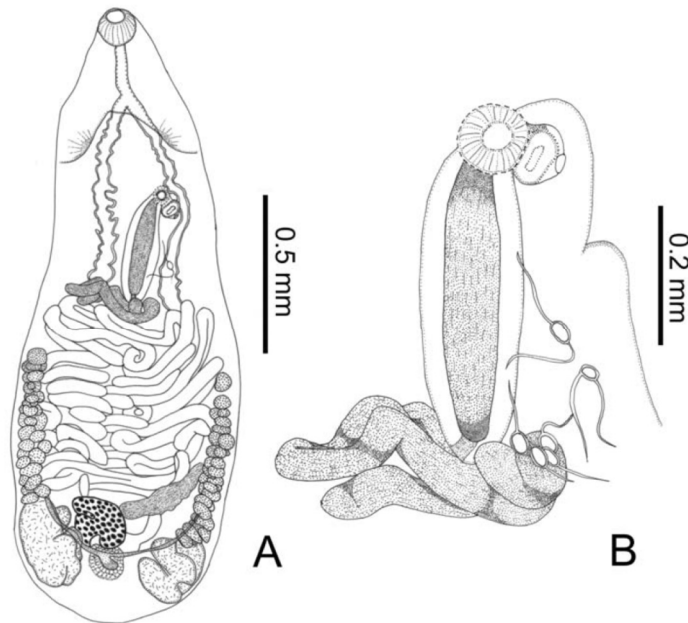


Fig. 1. *Pleurogonius tortugueroi* n. sp. A: Ventral view of holotype. B: Terminal genitalia.

Figura 6.12: Ejemplo de una ilustración científica mediante el dibujo "a mano alzada", mostrando las características morfológicas principales de una nueva especie de parásito. Tomado de: Santoro, Mario, tesis doctoral, UCR.

La representación de secuencias de nucleótidos o de aminoácidos en figuras es también de gran uso en publicaciones del campo biomédico. En ellas, se debe tener el cuidado de utilizar tipografías que no se basen en el principio de 'espacio proporcional' de los caracteres (es decir, donde una 'I' ocupa un menor espacio que una 'W' por ejemplo), ya que obviamente esto causaría un desalineamiento de las posiciones de dichas secuencias. Las tipografías como 'Courier New' son útiles a estos propósitos, ya que asignan un espacio igual a todos los caracteres (Fig.6.13). Además de las figuras que ilustran secuencias, también son cada vez más comunes las figuras sobre la estructura de moléculas, principalmente proteínas. Existen actualmente muchos programas informáticos de distribución gratuita que permiten representar las estructuras tridimensionales de proteínas en diversos estilos, colores y sombras (Fig.6.13). Esto se ha facilitado con la disponibilidad de dichas estructuras en repositorios públicos como el PDB (*Protein Data Bank*) y otros.

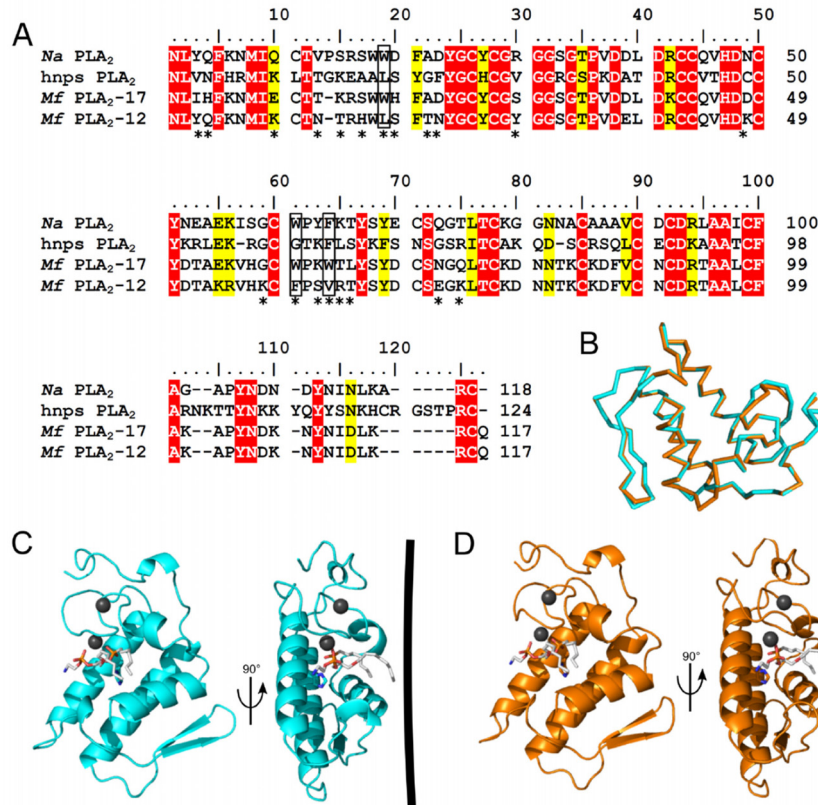


Figura 6.13: Ejemplo de una figura que compara secuencias de aminoácidos alineadas, e ilustra sus estructuras tridimensionales modeladas (Fernández et al., 2018).

Otros tipos de gráficos son aquellos que se generan directamente de instrumentos analíticos diversos, como citómetros de flujo (Fig.6.14), cromatógrafos (Fig.6.15), espectrómetros de masas (Fig.6.16), u otros. La mayoría de instrumentos son manejados a través de *software* que posee funciones para la exportación de imágenes que pueden ser utilizadas para una publicación. Sin embargo, en ocasiones, las imágenes que generan los instrumentos poseen rotulaciones muy pequeñas, u otras características no idóneas para ser usadas directamente en una figura. En tales casos, es posible mejorar la legibilidad mediante la edición manual, en un programa de dibujo.

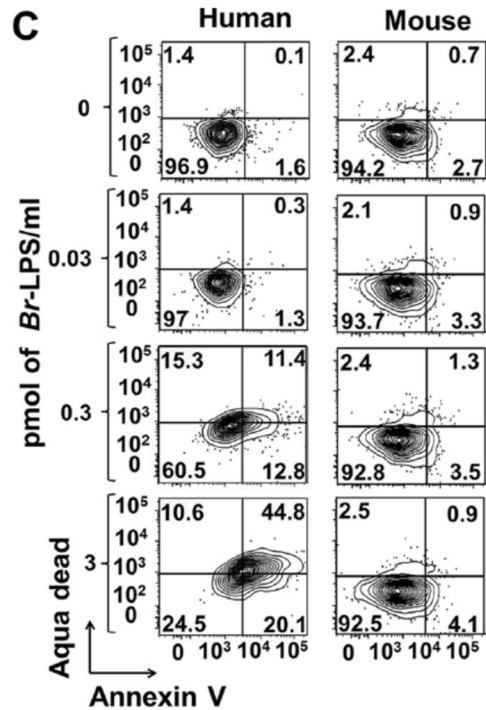


Figura 6.14: Ejemplo de una figura compuesta que resume los resultados de experimentos realizados en un citómetro de flujo (Mora-Cartín et al., 2016).

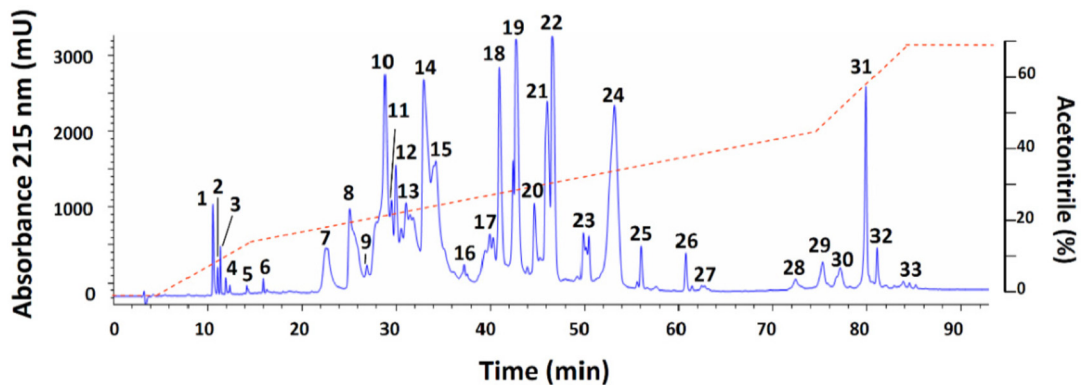


Figura 6.15: Ejemplo de una figura generada a partir de registros de instrumentos (en este caso, un cromatógrafo tipo HPLC). El tamaño del texto y números fue editado independientemente del trazo proporcionado por el instrumento, para una mejor legibilidad (Lomonte et al., 2016).

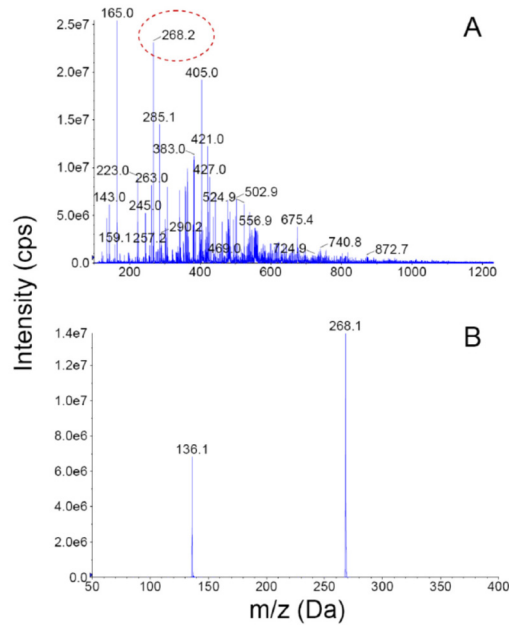


Figura 6.16: Ejemplo de una figura generada a partir de registros de instrumentos (en este caso, un espectrómetro de masas). Los rótulos de los ejes fueron editados independientemente del trazo proporcionado por el instrumento, para una mejor legibilidad (Lomonte et al., 2016).

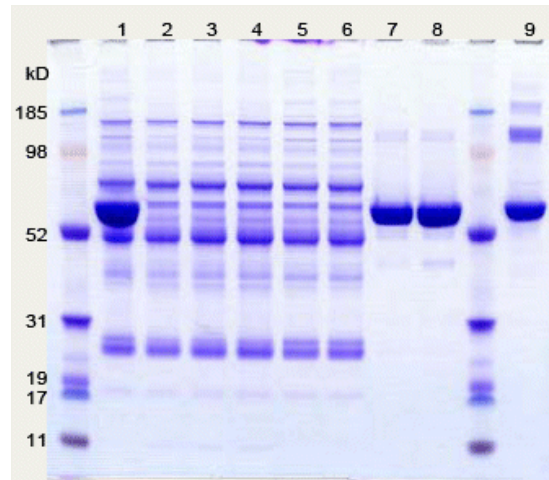


Figura 6.17: Ejemplo de una figura que ilustra los resultados de una electroforesis de proteínas. El registro fotográfico original se puede rotular en una proporción adecuada para la legibilidad. Tomado de: folleto comercial de reactivos AbCam.

En las figuras que ilustran técnicas electroforéticas como SDS-PAGE (Fig.6.17), Western blots, u otras, es importante fotografiar digitalmente el material en condiciones adecuadas de brillo y contraste, y no manipular estos parámetros, ni editar zonas

parciales de las imágenes, ya que esto puede ser considerado por las revistas como una conducta inadecuada. El uso de un contraste exagerado va a originar una imagen falsa del resultado real obtenido. Algunas revistas utilizan programas informáticos para detectar la manipulación de imágenes, y en sus instrucciones solicitan expresamente indicar en la leyenda de la figura (ej. una electroforesis), si se ha modificado digitalmente alguno de sus parámetros. Como precaución general, las fotografías de electroforesis y técnicas afines deben presentarse en su forma más natural posible.

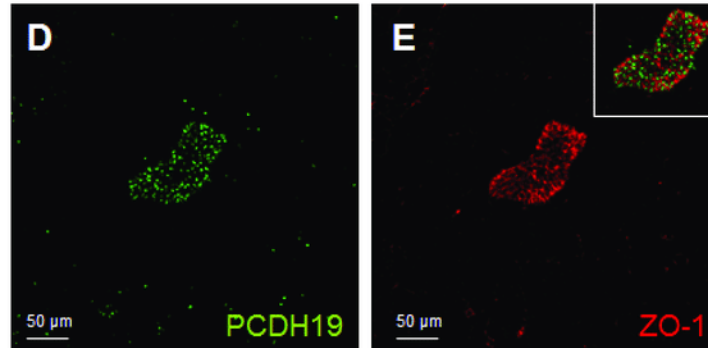


Figura 6.18: Ejemplo de una fotografía obtenida en un microscopio de fluorescencia. En la parte inferior izquierda de cada imagen se incluye un marcador interno de escala. Imagen: Creative Commons, www.researchgate.net/publication/282530690

Las figuras que ilustran características histológicas u otras imágenes obtenidas mediante técnicas de microscopía deben incluir un marcador interno de escala, para que el mismo varíe proporcionalmente con los posibles cambios en las dimensiones de la imagen durante su diagramación en la revista (Fig.6.18). En las publicaciones del campo clínico, puede ser necesario ilustrar con figuras alguna característica anatómica de pacientes, por ejemplo, en cuyo caso se protege la identidad personal cubriendo parcialmente el rostro en la imagen, como se muestra en la Fig.6.19.



Figura 6.19: Ejemplo de una figura que ilustra un caso clínico, donde se requiere ocultar parcialmente el rostro de la paciente para proteger su identidad. Imagen: Wikipedia Commons.

La variedad de tipos de figuras para presentar resultados en publicaciones científicas es enorme, y siempre habrá espacio para la imaginación al planear su diseño, con el objetivo de llevar un mensaje óptimo a la audiencia que queremos alcanzar.

6.6 El proceso de publicación

Como se mencionó al inicio de este capítulo, la publicación científica conlleva un proceso de arbitraje o evaluación por pares expertos independientes, cuya finalidad es filtrar y mejorar la calidad final de la información comunicada. El sistema de evaluación por pares es la base de toda la estructura de publicación científica moderna, y aunque no se considera un sistema perfecto o infalible, ha sido la mejor opción disponible hasta el momento. Algunas variantes de este sistema se encuentran en prueba en algunas revistas o repositorios de información, pero el grueso del sistema de publicación científica se basa en el sistema convencional que describiremos a continuación.



Figura 6.20: El proceso de publicación inicia con la asignación de un manuscrito, por parte de un editor, a 2 o 3 evaluadores independientes. Ellos remitirán su criterio y observaciones sobre el manuscrito al editor, a quien corresponde valorar e integrar dicha información, para tomar decisiones sobre los siguientes pasos del proceso.

Una vez que los autores han preparado un manuscrito para ser considerado para publicación en una revista, remiten el material completo (texto, figuras, material suplementario, carta de presentación, declaraciones de posibles conflictos de interés, etc., según las instrucciones de cada revista) a una dirección editorial. En la misma, el editor juzga inicialmente, de modo muy general, sobre la pertinencia temática del manuscrito en relación con los fines de la revista, punto en el que se ejerce un primer filtro o decisión. Un editor tiene la potestad de devolver el manuscrito a los autores argumentando que no se ubica dentro de la temática o prioridades de la revista, o bien, puede continuar con el segundo paso: la asignación del manuscrito a evaluadores expertos, que le remitirán su criterio y observaciones sobre el trabajo. En la mayoría de revistas los evaluadores se mantienen anónimos a los autores. Usualmente los manuscritos son evaluados por al menos dos revisores, y a menudo por tres (Fig.6.20), seleccionados por el editor (o por sus editores asociados). Los autores pueden sugerir

los nombres de posibles evaluadores que estarían en capacidad de juzgar adecuadamente su trabajo, pero la decisión de invitarlos es una prerrogativa del editor. Además, algunas revistas permiten a los autores indicar los nombres de personas que preferirían no sean asignadas como evaluadores, ya sea por razones de competitividad en un tema, o por razones de otras índoles que - en su opinión - podrían afectar la objetividad del proceso. Al igual que en el caso anterior, esta indicación es tomada solamente como una sugerencia, y es una decisión exclusivamente editorial el invitar o no a dichas personas como evaluadores.

Una vez que el editor ha recibido los informes de los evaluadores asignados para un manuscrito (por lo general en un plazo de 10-20 días), debe integrar las opiniones y observaciones, y tomar una decisión (Fig.6.21). El manuscrito puede ser declarado entonces como:

(a) rechazado, indicando a los autores las críticas y razones que justifican tal decisión.

(b) aceptable, y devuelto con observaciones sobre los puntos que requieren ser aclarados o enmendados, incluso a veces requiriendo de experimentos adicionales, con el fin de que los autores realicen las modificaciones pertinentes y envíen nuevamente el trabajo para continuar su evaluación. En tal caso, la aceptación no está garantizada, y el editor usualmente reenvía el manuscrito a los mismos evaluadores para obtener nuevamente su criterio, que indique si se han subsanado las deficiencias o no.

(c) aceptado en su forma y versión original, sin requerir ninguna mejora.

Los porcentajes de aceptación y rechazo son variables entre las distintas revistas, existiendo algunas sumamente selectivas y de un alto nivel de exigencia, hasta otras que poseen muy baja selectividad y exigencia. Como se aborda en el [Capítulo 10](#), hay grandes diferencias entre las revistas, y uno de los lamentables problemas que afronta la ciencia actual es el florecimiento de las denominadas 'revistas depredadoras', cuyo fin primordial es lucrar mediante cobros a los autores por publicar, sin cumplir con procesos de evaluación formal y criterios de calidad científica.

Durante todo el proceso, es importante que se seleccione a uno de los autores de un trabajo realizado entre varias personas, para que se encargue del manejo de la correspondencia editorial. Ello incluye desde el envío del manuscrito y su carta de presentación, hasta la recepción de las observaciones y decisiones, coordinación con los coautores, integración de las modificaciones o correcciones, reenvío del manuscrito (cuando corresponde) con su respectiva carta de respuestas o aclaraciones, hasta la aprobación final de la prueba de galera (diagramación final del artículo aceptado), antes de que el artículo salga publicado en su versión definitiva.

Lo usual, durante el proceso de evaluación de un manuscrito, es que surjan observaciones y críticas por parte de los revisores, las cuales requieren ser abordadas

por los autores. Aunque un rechazo o una aprobación directa son posibilidades que obviamente ocurren, es más común que un manuscrito sea considerado como 'aceptable', sujeto a que se enmienden o se aclaren las observaciones surgidas durante su evaluación. Las mismas deben ser abordadas en una carta de respuesta a los evaluadores, punto por punto. En ocasiones ello puede implicar la realización de nuevos experimentos, o introducir cambios sustanciales en la redacción. Es perfectamente posible que algunas de las críticas surjan por una interpretación errónea de un punto específico del manuscrito por parte de un evaluador. En tales casos, los autores deben proceder a hacer la aclaración correspondiente o a defender su punto con base en argumentos claros y sólidos, basándose en los resultados. El hecho de que un evaluador independiente y con amplia experiencia en su campo haga una observación, no implica que siempre tenga la razón, y es factible discutir la discrepancia en la carta de respuestas. Un editor tiene potestad para enviar un manuscrito a un evaluador adicional, si lo considera pertinente, para decidir sobre una discusión o duda sobre algún punto relevante del artículo. En todo caso, hay que tomar en cuenta que los evaluadores realizan, en la mayor proporción de casos, observaciones muy acertadas. El abordar dichas críticas muchas veces contribuye a mejorar la claridad y calidad del manuscrito, y no es infrecuente que los autores agreguen en la sección de Agradecimientos una mención de gratitud a las observaciones 'de un evaluador anónimo'.

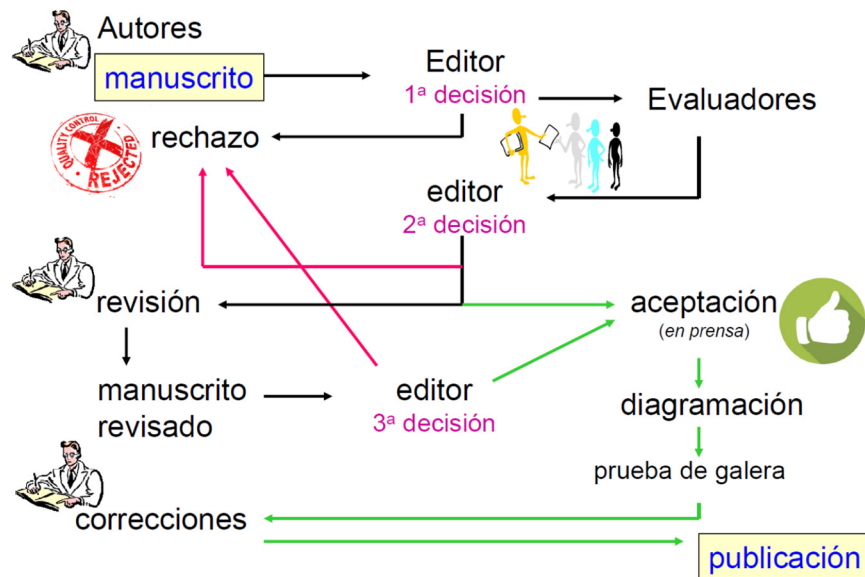


Figura 6.21: Resumen de los pasos del proceso de publicación en revistas científicas. El criterio de los evaluadores, junto con la valoración integrada a nivel editorial, determinan la aceptación o el rechazo de un manuscrito.

De lo anterior se desprende que las críticas y observaciones de los evaluadores deben tomarse en forma positiva, valorando el trabajo y esfuerzo que los mismos han dedicado a esta labor (que es un proceso sin ningún tipo de remuneración o incentivo).

Por supuesto, pueden ocurrir situaciones en las cuales se reciban críticas poco justas o subjetivas, pero ello es más la excepción que la regla.

Al recibir las críticas de los evaluadores, las primeras reacciones que se despiertan en los autores pueden ser muy emocionales y subjetivas, por lo que usualmente no son 'el mejor consejero' para elaborar las respuestas en ese momento. En vez de precipitarse a ello, es recomendable analizar pausadamente cada punto, y discutirlo entre los coautores, o incluso con colegas cercanos afines al tema, para formarse una mejor perspectiva sobre cada punto a discutir, y de sus posibles enmiendas y/o aclaraciones. Debemos recordar que, en una alta proporción de casos, las críticas van a ser válidas. Además, estas nos dan la oportunidad de mejorar el manuscrito, cuando ha sido catalogado como 'aceptable'. La carta de respuesta para el reenvío de la versión revisada o corregida requiere ser elaborada con el mismo cuidado y precisión que el propio manuscrito que se desea publicar (Fig.6.22). Es de cortesía iniciar dicha carta agradeciendo a los evaluadores por su trabajo y tiempo dedicado a la revisión del manuscrito, una labor demandante y altruísta.

- **A**ttention to details
- **C**heck and double check your work
- **C**onsider the reviewers' comments
- **E**nglish must be as good as possible
- **P**resentation is important
- **T**ake your time with revision
- **A**cknowledge those who have helped you
- **N**ew, original and previously unpublished
- **C**ritically evaluate your own manuscript
- **E**thical rules must be obeyed

Figura 6.22: Jugando con la palabra en inglés "ACCEPTANCE", se resumen una serie de puntos claves para la elaboración de un manuscrito, o su correspondiente "carta de respuestas".

En el caso de que un manuscrito sea rechazado, lo más recomendable es evitar discusiones o reclamos al editor, puesto que es sumamente difícil que una decisión editorial se retracte. En vez de considerar el envío de una carta beligerante, que no va a lograr ningún cambio de decisión, lo indicado es analizar cuidadosamente los puntos que motivaron el rechazo del manuscrito y determinar si existe la posibilidad de enmendarlos, para posteriormente enviar el manuscrito mejorado a una nueva revista para su consideración. Además, existe la posibilidad de que las críticas sean de tal peso que lleven a los autores a considerar la decisión de no publicar el trabajo.

A modo de conclusión, podemos decir que la publicación de uno o más artículos completa un buen proyecto de investigación científica. A través de ello, demostramos haber realizado un aporte original al conocimiento, que además ha superado la

evaluación por pares expertos que han dado su opinión favorable sobre los méritos de nuestra contribución. Podemos agregar también que la publicación responde por la inversión realizada en el proyecto, tanto ante las agencias financiadoras, como ante la propia sociedad que respalda la inversión pública en las investigaciones. Realizar una buena publicación científica requiere de mucho esfuerzo y trabajo, pero a la vez es gratificante para los investigadores y sus entes patrocinadores. Las publicaciones construyen paso a paso una carrera científica, y además representan una importante carta de presentación en el mundo de la investigación científica.

Capítulo 7

La presentación oral de la investigación

Bruno Lomonte

7.1 Introducción

A lo largo de este texto, hemos ido describiendo una serie de destrezas básicas de utilidad en la investigación, en especial en las ciencias biomédicas, pero en su mayoría igualmente aplicables a otros campos científicos y tecnológicos. Estas destrezas son variadas y cubren diversos aspectos de la cotidianidad del trabajo académico e investigativo, tanto del estudiante en formación, como del investigador, que inician una carrera científica. Podemos conceptualizar este grupo de destrezas como una "caja de herramientas" básicas que debemos tener para poder enfrentar exitosamente los retos que plantean las sendas de la investigación (Fig.7.1).



Figura 7.1: La "caja de herramientas" básicas para la investigación debe incluir una serie de destrezas muy variadas para enfrentar exitosamente los retos que plantean los caminos de la ciencia.

La comunicación formal de los nuevos conocimientos que genera la investigación se realiza principalmente a través de su publicación en revistas, libros, y otros medios especializados, como se ha descrito en el capítulo precedente (Cap.6). Sin embargo, igualmente importante es la comunicación de la investigación a través de otras

modalidades distintas a la publicación científica formal. Estas modalidades involucran la comunicación oral a través de conferencias, seminarios, presentación de afiches (*posters*), etc. en distintos tipos de actividades académicas como congresos o simposios.

7.2 Presentación oral de la investigación y sus modalidades

Las presentaciones orales sobre investigación pueden tener distintos matices y modalidades, dependiendo del tipo de actividad particular. Pueden variar desde un seminario en un departamento, una facultad, o un instituto, hasta una pequeña reunión de grupo de trabajo, o una presentación ante potenciales empleadores para aplicar a un puesto de trabajo o una beca de estudios. Incluyen también desde presentaciones extensas (conferencias principales) o cortas (mini-presentaciones) en un congreso científico, hasta la presentación y discusión de un afiche o *poster*. En el caso de las presentaciones orales relacionadas con los estudios de posgrado, es usual exponer ante un tribunal examinador la propuesta o anteproyecto de tesis, así como la defensa final de la tesis, en forma oral y pública. Por tanto, es muy importante adquirir destrezas para lograr una eficiente comunicación de la investigación no solamente en forma escrita, sino también oral.

Cualquiera que sea la modalidad de la presentación, existen requisitos comunes a todas que son absolutamente esenciales para una comunicación exitosa:

1. Tener un mensaje pertinente y que valga la pena comunicar
2. Tener una presentación bien elaborada y estructurada
 - con una organización lógica de la información
 - con recursos audiovisuales de calidad
 - con información ajustada a la audiencia
3. Practicar y optimizar la presentación, y ajustarse al tiempo

En cuanto a los tiempos más usuales para cada modalidad, se puede hacer una generalización, a modo de guía:

- Seminario 'clásico': 60 min (45-50 min + 10-15 min discusión)
- Conferencias principales en congresos: 30-60 min
- Presentaciones cortas en congresos: 15-20 min
- Presentación de un anteproyecto: 30-45 min
- Defensa de tesis: 45-60 min

7.3 Estructuración de una presentación oral de investigación

La estructuración de la presentación debe planificarse pensando en mantener un hilo conductor y una secuencia lógica de la información a comunicar. Para ello, es útil preparar un esquema o bosquejo de la información y planear su orden. En la presentación oral de resultados experimentales, pueden adoptarse dos distintas

modalidades de estructuración. En la primera, se exponen un bosquejo de los métodos experimentales, y posteriormente se exponen todos los resultados de manera resumida. La segunda opción consiste en presentar el bosquejo del método de un experimento y seguidamente su resultado, y así sucesivamente. Las preferencias con respecto a estas modalidades son personales.

La estructuración general de una presentación usualmente se apoya con una proyección, que comienza con una imagen o diapositiva que resalta el título, y más discretamente el nombre del expositor y su afiliación institucional. Seguidamente se dedica un tiempo breve a introducir a la audiencia en el tema. Esta introducción es muy importante, pues debe enfocarse solamente en la información indispensable para comprender el resto de la presentación, y no convertirse en una especie de clase magistral o revisión exhaustiva sobre el tema. Este es uno de los errores más frecuentes que se observa en quienes se inician en estas artes, por lo que aún poseen poca experiencia. Por ejemplo, en el diseño de un seminario de investigación de 50-60 min, la introducción usualmente puede consumir los primeros 5-10 min, pero no más que eso. Luego de la introducción o antecedentes, continúa el cuerpo central de la presentación, en donde debemos planear cuál es la mejor secuencia para hilvanar los distintos puntos a comunicar, y cómo realizar las transiciones entre ellos, de modo que se eviten las rupturas abruptas del hilo conductor de la presentación. Siguiendo con el ejemplo de un seminario clásico, se dedica generalmente 25-35 min al cuerpo de la presentación. Seguidamente, es importante planificar el cierre o síntesis de la exposición, enfatizando o reforzando los principales puntos, conclusiones y mensajes finales que deseamos dejar a la audiencia (los llamados *take home messages*), y las posibles direcciones futuras de la investigación. Para ello, pueden invertirse unos 5-10 min, para finalmente concluir con una diapositiva de agradecimientos a personas e instituciones que hicieron posible la investigación. Al respecto, existe una modalidad que algunos expositores prefieren, en la cual los agradecimientos se presentan al inicio, inmediatamente después de la diapositiva del título. Su argumento se basa en que al presentar los agradecimientos al final, se causa una especie de distracción momentánea en la audiencia con respecto al hilo de la presentación, y que ello incide en la formulación de las preguntas por parte del público.

La anterior es una guía general de estructuración, que por supuesto puede tener una serie de variantes aún más amplia a las descritas aquí. Por ejemplo, algunos expositores utilizan una diapositiva previa a la introducción, en la cual presentan una lista panorámica de los puntos que van a exponer. Otra variación interesante es cuando se participa en algún congreso o simposio en donde los organizadores brindan una diapositiva tipo 'molde', que cada expositor debe obligatoriamente proyectar inmediatamente después del título, en la cual se realiza una declaración de posibles conflictos de interés relacionados con la presentación (en forma similar a la sección equivalente de las publicaciones científicas). Sean cualesquiera las variantes en la estructuración de la presentación, lo importante es que cumpla los tres puntos esenciales que se citaron arriba.

Uno de los aspectos esenciales citados es anticipar las características de la

audiencia. La comunicación oral eficiente implica no solo que el mensaje emane del expositor, sino que sea recibido claramente por la audiencia. Por ello, si conocemos de antemano las características del público que nos escuchará, podemos hacer una mejor preparación de la exposición oral. En ocasiones no contamos *a priori* con la información exacta sobre nuestro público, y es allí donde vale la pena hacer algún esfuerzo por indagar, o al menos intuir sobre las posibilidades.

La base audiovisual de la presentación juega un papel fundamental, que facilita y complementa una buena exposición oral. Los recursos disponibles en la actualidad son muy amplios y versátiles, por lo que no se justifica planear una presentación sin invertir algún tiempo y esfuerzo en aprovecharlos. El uso de imágenes tiene un impacto positivo sobre el público e influye fuertemente sobre su percepción de la calidad de la presentación y la habilidad del expositor, por lo que su uso es recomendado. El diseño de las diapositivas debe ser sobrio, evitando recargar de texto y de imágenes los espacios. El uso de los colores, así como de diferentes tipos y tamaños de letra, son otros detalles a cuidar. Algunas personas prefieren el uso de diapositivas de fondo negro o muy oscuro, sobre el cual se escribe el texto con colores claros. Uno de los posibles problemas de este estilo de diseño es que dependiendo del tipo de iluminación de la sala o auditorio donde se realice la presentación, el fondo negro puede contribuir a oscurecer el ambiente, lo cual puede adormecer a la audiencia. Es por eso que la mayoría de conferencistas prefieren el uso de un fondo claro con texto oscuro, que brinda una mayor claridad al ambiente. Sin embargo vale la pena destacar que, para ciertos propósitos, el contar con algunas diapositivas de estilo oscuro puede ser ventajoso: por ejemplo cuando se proyectan imágenes de microscopía de fluorescencia, la claridad ambiental perjudica la visualización. Al igual que en el caso de las distintas modalidades de estructuración, el diseño gráfico de las diapositivas que nos darán el apoyo audiovisual necesario es en última instancia una decisión de preferencia personal.

Con respecto a los tiempos y el número de diapositivas, se ha dicho que una guía general es tener una diapositiva por cada minuto de exposición, en promedio. Claro está, este promedio toma en cuenta que algunas diapositivas contienen poca información y se pueden pasar rápidamente, mientras que algunas otras, en especial las que contienen gráficos o cuadros de datos que requieren detenerse a explicarlos, toman un mayor tiempo. Lo importante es calcular el volumen de la información a comunicar, de tal manera que podamos realizar la exposición con comodidad en cuanto al tiempo, sin tener que atropellarla o correr excesivamente en nuestra dicción.

7.4 Consejos adicionales para la presentación

El dirigirse a un público para un seminario, conferencia, o exposición siempre va a tener algún efecto en el expositor, en mayor o menor grado según las características de cada persona. Algunas son más introvertidas y sufren un mayor grado de estrés o nerviosismo al enfrentar una presentación oral, mientras otras lo realizan con gran naturalidad y sin mayores sobresaltos. El nerviosismo es un aspecto sobre el cual se puede trabajar con el fin de minimizarlo, y se dice que el mejor antídoto para ello es practicar varias veces la presentación antes de realizarla. La práctica o ensayo ayuda a

que la presentación final transcurra con mayor fluidez y naturalidad, y cada quien podrá determinar cuándo ha llegado al punto de sentirse cómodo con el ensayo repetido de su presentación. Un ligero nivel de nerviosismo o estrés puede ayudar al desempeño y constituirse en un elemento positivo (Fig.7.2). Sin embargo, en grados mayores o excesivos es bien sabido que el estrés o el 'pánico escénico' van a afectar negativamente la exposición.

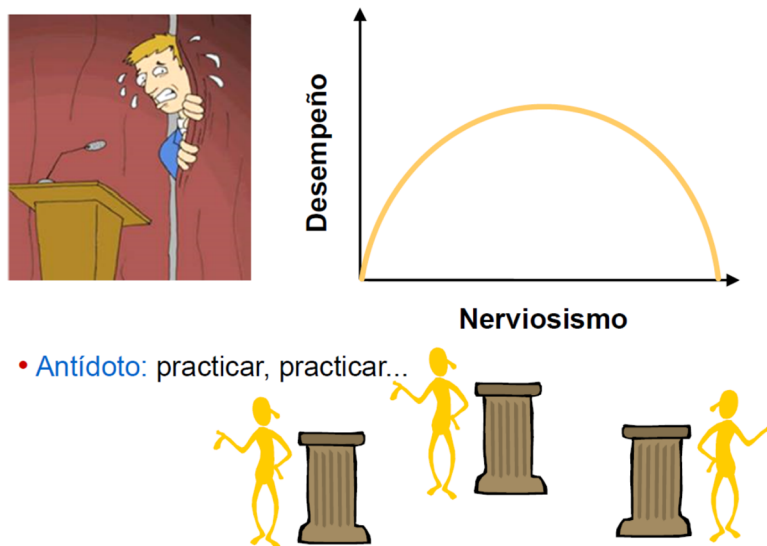


Figura 7.2: El manejo del nerviosismo o estrés es un factor importante para una presentación oral, que afecta el desempeño del expositor. Cada persona es distinta en su manejo de este factor, y la mejor recomendación para manejarlo apropiadamente es tener una buena preparación de la presentación y practicarla hasta el punto de sentirse cómodo con la fluidez, la velocidad de dicción, y el ajuste en cuanto al tiempo planeado. Imagen: www.pinterest.com/pin/651966483543261188/

Antes de una exposición oral, es importante planear y seleccionar la vestimenta adecuada para cada ocasión, la cual va a tener relación con el nivel de formalidad del evento, las características climáticas del lugar en donde se lleva a cabo, etc. En ocasiones se realizan congresos en sitios turísticos como hoteles de playa, por ejemplo, en donde la vestimenta es relajada. En otro extremo tenemos actividades en sedes de mayor solemnidad, que ameritan una presentación personal más formal. Sin embargo, en la experiencia del autor, los científicos no son precisamente las personas que dan la mayor prioridad al tema de la vestimenta y la presentación personal, si se comparan con otros gremios profesionales más convencionales.

De ser posible, conviene al expositor familiarizarse previamente con el sitio en donde se llevará a cabo su presentación oral, así como asegurarse de antemano que la proyección de su material funciona perfectamente (formato, bordes, compatibilidad de caracteres internacionales, y demás detalles). Esto es de especial relevancia cuando las presentaciones a proyectar contienen animaciones, o pequeños videos y/o audios

incorporados. También es aconsejable revisar el funcionamiento del 'puntero' luminoso o control remoto a utilizar durante la exposición, así como el micrófono, para estar familiarizados de antemano. En las sesiones con múltiples expositores, es aconsejable sentarse en los puestos de adelante del auditorio o sala, antes de ser llamado, con el fin de incorporarse rápidamente al frente en su momento. Una visita al baño antes de exponer nunca está de más, así como revisar que se tenga apagado el teléfono celular, en caso de portar uno.

Al momento de exponer, es importante recordar que debemos dirigirnos hacia el público, y no hacia la pantalla de proyección. Hay que tener mucho cuidado con este detalle, a veces inconsciente. Mantener un contacto visual con la audiencia ayuda a mantener su atención y dirige un mejor mensaje. Deben evitarse las llamadas "muletillas" inconscientes ('...eetee', '...estee') y mantener un ritmo de exposición que favorezca la claridad y la dicción. Se dice que una velocidad adecuada ronda las 10 palabras cada 5 segundos, en promedio 2 palabras por segundo, como máximo. Tanto el exceso de velocidad, como la exagerada lentitud de la dicción, riñen con una buena exposición oral. Por otra parte, las modulaciones de la voz juegan también un papel importante en la exposición. Mantener un tono de voz muy plano lleva a la monotonía, y desaprovecha la oportunidad de enfatizar algunos aspectos de mayor relevancia de nuestra información. Los buenos oradores desarrollan una gran habilidad para modular la intensidad, los tonos, y el volumen de la voz, e introducir pausas en los puntos más relevantes para la claridad de la comunicación. Finalmente, los movimientos de manos, cuerpo, y las expresiones faciales pueden representar un detalle relevante dependiendo de si la exposición se realiza detrás un podio fijo, o si el expositor tiene libertad de desplazarse. El grado de iluminación también determina si este factor es relevante o no.

Además de los anteriores consejos, se puede agregar que existen una serie de comportamientos a evitar durante la exposición (Fig.7.3).

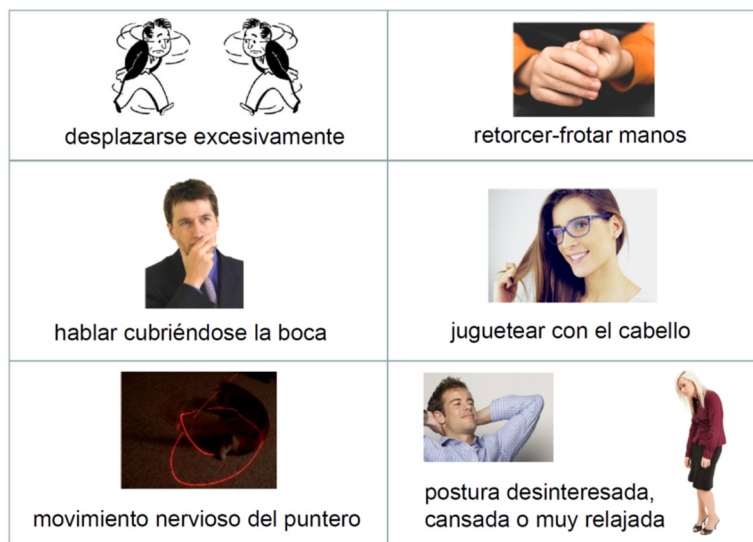


Figura 7.3: Comportamientos a evitar durante una exposición oral.

Luego de una exposición oral, por lo general se dedica un cierto tiempo para responder preguntas o para discusión. Es importante mostrar entusiasmo en esta etapa y permanecer alerta y enfocado (recordar que su tarea aún no ha terminado). Es recomendable mostrarse alentador hacia las preguntas, y contestarlas con toda educación y tacto, aún en los casos en que una pregunta pueda parecer hostil o fuera de tono. Conteste dirigido hacia la persona que hizo la pregunta, pero recuerde hablar para todo el público en vez de establecer un diálogo aparte. Como cortesía para la audiencia, puede repetir la pregunta en su micrófono (si esta se realizó sin utilizar uno) para que el público se mantenga incorporado a la discusión. Las contestaciones de la etapa de preguntas deben ser necesariamente breves, y no convertirse en una segunda exposición. Cuando corresponda, si ha cometido alguna equivocación, o no conoce una respuesta, admita su error o su desconocimiento con honestidad.

7.5 Elaboración y exposición de afiches en congresos

Los congresos científicos, simposios, talleres, etc., se han consolidado desde hace mucho tiempo como una excelente forma de interacción para el intercambio de conocimientos y experiencias entre los investigadores en un tema común. El tiempo disponible para la presentación de conferencias y exposiciones cortas en los programas de estos eventos es limitado y obliga a que una gran proporción de los trabajos de investigación se presenten en forma de un afiche impreso (o a veces digital, en pantallas electrónicas) que el público interesado puede mirar, y conversar con la persona que lo presenta, durante las sesiones programadas para tal fin (Fig.7.4).

La elaboración de un afiche implica diseñar un esquema gráfico que resuma los aspectos principales de un trabajo de investigación. Dado que un afiche no representa una publicación formal, existe una amplia libertad de formatos y diseños para realizarlos, vale decir, su estructuración no es rígida. Algunas personas los diseñan utilizando secciones delimitadas que incluyen un resumen o abstract, una somera (o ninguna) información metodológica, y principalmente algunas figuras que ilustran los resultados más relevantes para apoyar la(s) conclusión(es). Un consejo importante es no recargar con demasiado texto el diseño, y más bien explotar y aprovechar el uso de imágenes. El formato de afiches se presta mucho para la presentación de resultados preliminares o avances de un proyecto de investigación inconcluso. Esto es así, dado que los afiches no están restringidos por la rigurosidad de la evaluación de una publicación formal por parte de revisores, como en el caso de las revistas. En este sentido, no se consideran propiamente como publicaciones. Una recomendación general es incluir en el afiche la dirección de correo electrónico del autor que expone el trabajo, y preferiblemente una fotografía de tamaño discreto, cerca del título, que facilite al 'visitante' identificar a la persona que está presentando el trabajo, entre las personas que puedan estar alrededor del afiche en un momento dado.

En el diseño y la estructuración del afiche, debemos asegurarnos que el texto y las imágenes se puedan leer bien a una cierta distancia, por lo que debe seleccionarse un tamaño y tipo de letra adecuado. En la actualidad existen algunos sitios *web* que ofrecen

plantillas pre-elaboradas para ser completadas por los usuarios con sus datos y figuras. El otro aspecto importante a considerar son las dimensiones y la orientación (vertical u horizontal), cuya información es normalmente proporcionada en las instrucciones del congreso. El sistema de colgado de los afiches (tachuelas, cintas adhesivas dobles, cordeles de nylon, etc.) en los caballetes es también importante, si no queremos que los mismos se desprendan fácilmente durante las sesiones. El material de impresión varía desde las cartulinas de distintos grosores hasta las 'mantas' (*banners*) plastificadas flexibles, pero es importante asegurarse que los sitios donde se pueden hacer estas impresiones ofrezcan una resolución adecuada para que las imágenes y el texto tengan suficiente nitidez. En algunos congresos los organizadores disponen de pantallas electrónicas grandes que permiten cargar el afiche en forma digital, aunque son la minoría de casos debido al alto costo de dichos dispositivos.

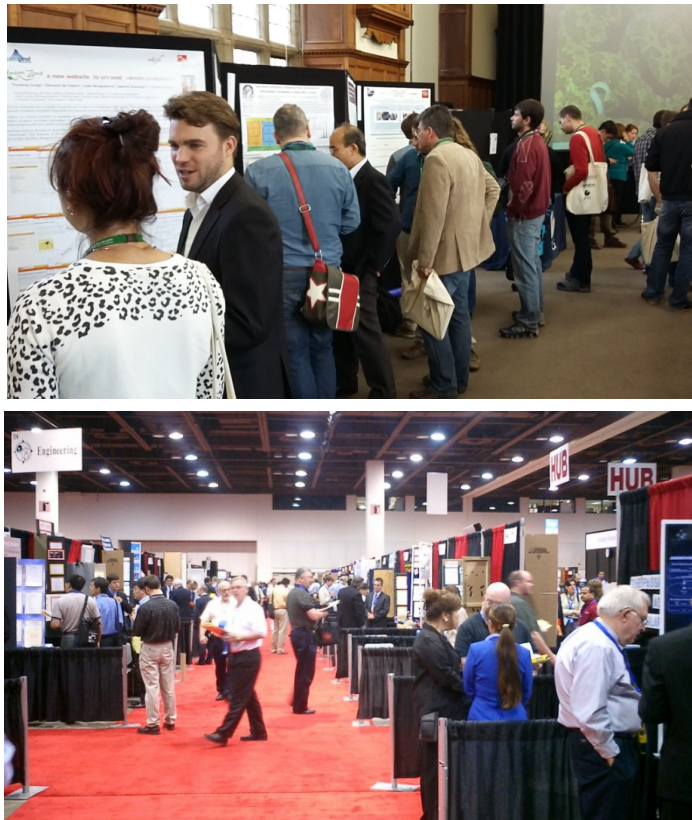


Figura 7.4: Las sesiones de presentación de afiches o *posters* en los congresos científicos brindan una valiosa oportunidad para conversar directamente con los autores de un trabajo de investigación y discutir sobre temas de interés común, en un ambiente libre e informal. Arriba: Congreso Mundial de la *International Society on Toxinology* en Oxford, UK, 2015. Abajo: *Intel Science and Engineering Fair* en Phoenix, EUA, 2005. Imágenes: B. Lomonte.

Es recomendable tener planeada una breve explicación general que se brinda en forma oral a las personas que se acercan para conocer y discutir la investigación. Dicha

explicación debe ser lo más breve posible, ya que cada visitante dispondrá de muy poco tiempo para dedicarle a cada una de las 'estaciones' que visitará. Como guía, una explicación de unos 2 minutos puede ser un tiempo apropiado. Tener preparada una explicación puede ser muy útil en ocasiones donde alguna persona que forma parte de un jurado calificador (sin identificarse como tal) se acerque al afiche para evaluarlo sin que nos percatemos de su misión. Usualmente en los congresos se premian distintas categorías de los trabajos más destacados en el formato de afiches.

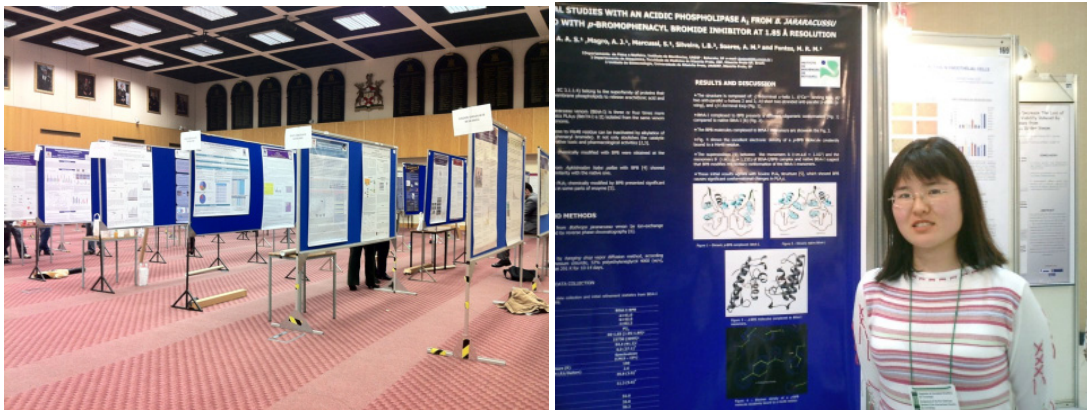


Figura 7.5: Izquierda: un ejemplo de la disposición de caballetes para el colgado de los afiches. Derecha: ejemplo de un afiche colgado y su autora disponible para su explicación. Imágenes: B. Lomonte.

7.6 Conclusión

Las destrezas de comunicación verbal en la investigación científica son igualmente importantes que las de comunicación escrita. Para que ambas sean exitosas existen requerimientos esenciales, algunos en común y otros propios de cada una. La presentación oral de la investigación es una destreza que debe desarrollarse como parte integral de la 'caja de herramientas' básica del investigador, y juega un papel relevante para el éxito durante su formación en posgrado y su posterior carrera en las ciencias. Ciertamente, preparar una presentación oral implica invertir un tiempo y esfuerzo considerables, y puede ser más difícil para algunos que para otros, por razones propias de la personalidad. Sin embargo, las dificultades de dirigirse a un público se pueden superar mediante esfuerzo y práctica. Al igual que en el caso de la comunicación escrita, no podemos dejar de enfatizar su relevancia como destrezas fundamentales para las personas dedicadas a la investigación.

Capítulo 8

Las disyuntivas para convertirse en un científico en un país de bajos ingresos

Edgardo Moreno

8.1 Una década después de 'las diez reglas sencillas'

En el año 2007, el científico Philip E. Bourne, investigador de los *National Institutes of Health* de los Estados Unidos, me solicitó escribir un artículo que relatara el desarrollo de la 'Biología computacional en Costa Rica'. En esa época, la computación aplicada a la biología en América Latina era más que exigua, y Costa Rica no era la excepción. A pesar de las vicisitudes, acepté el reto y en colaboración con dos de mis colegas, el Dr. Bruno Lomonte y el Dr. José María Gutiérrez logramos amalgamar tres ejemplos costarricenses sobre sistemas computacionales aplicados a la biología, que mostraban la modesta contribución de lo que ahora es una disciplina bien elaborada y esencial en el desarrollo de la ciencia (Moreno *et al.*, 2008).

Sin embargo, en esa primera década del siglo XXI, no fue el avance de las ciencias computacionales aplicadas a la biología lo que me llamó la atención del trabajo de Philip Bourne, sino que fueron sus ensayos dirigidos a inspirar a jóvenes científicos. El primero de ellos titulado 'Diez reglas sencillas para publicar trabajos científicos' (Bourne, 2005) tuvo muy buena acogida y rápidamente se volvió un clásico dentro de las colecciones de las revistas PLoS, de 'acceso abierto', algo que fue innovador para su época. Bajo el lema de 'Diez reglas sencillas...', siguieron muchos otros artículos que abordaban diferentes tópicos, tales como las estrategias para obtener financiamiento, para la revisión de manuscritos científicos, para la selección de candidatos posdoctorales, para el establecimiento de colaboraciones, etc. Recomiendo a todos aquellos que quieran seguir una carrera científica leerlos y meditar sobre su contenido. Todos ellos pueden ser revisados en el sitio *web* de la colección de PLoS (PLoS Collections, 2018).

A pesar del valor de los ensayos de Bourne publicados entre el 2005 y el 2007, la mayoría de ellos estaban dirigidos a jóvenes científicos de países de altos ingresos de Europa Central y en particular de los Estados Unidos. Por tanto, muchas de las cosas que se describían en ellos, eran ajenas al contexto en el que se desenvolvían los jóvenes investigadores de países de bajos ingresos. Es decir, eran ensayos para aspirantes a científicos del llamado 'primer mundo' y no para aquellos con pretensiones de ser científicos en los países que, en la jerga déspota del siglo pasado, se conocían como subdesarrollados.

Mi preocupación por el devenir de los jóvenes científicos en Costa Rica y en Centroamérica ha sido un tema recurrente (Moreno & Alveteg, 2003; Moreno *et al.*, 2011). He constatado cómo los jóvenes investigadores bien entrenados en los Estados Unidos, en Europa o incluso en países como Costa Rica, se diluyen en la idiosincrasia criolla y se enredan en la maraña burocrática. Más temprano que tarde, la mayoría de ellos termina abandonando su vocación científica. Ya en ese entonces, me había percatado de que el abandono de la actividad científica no se relacionaba con la capacidad investigativa de los recién graduados, ya que la gran mayoría estos habían demostrado sobrada capacidad durante su entrenamiento doctoral. Sin duda, el problema era idiosincrático y respondía a las condiciones locales. A este fenómeno lo he llamado 'la fuga de cerebros interna' y lo he observado también en otros lugares de Centro América, en México, en Colombia, en Argentina y en Venezuela. Por alguna circunstancia especial, la fuga de cerebros interna ocurre más dentro de Costa Rica que la migración de científicos costarricenses hacia el extranjero (Moreno, 2014). Tanto la fuga de cerebros interna local, como hacia afuera, son una pérdida invaluable de valiosos jóvenes y además tienen un alto costo para los países de bajos ingresos.

En mi caso particular, la experiencia adquirida durante mis estudios de doctorado y entrenamiento posdoctoral en los Estados Unidos y en Alemania, me habían dado una perspectiva clara de cómo funcionaba la ciencia en los países de altos ingresos. Además, logré una visión diferente y más integral que la de muchos de mis compañeros residentes en esos países ricos. Esto se debía a la experiencia que había adquirido en investigación desde 1972, siendo estudiante de microbiología en la Universidad de Costa Rica. Gracias a la tutela y guía del Dr. Roger Bolaños, entonces director del Instituto Clodomiro Picado de la Universidad de Costa Rica, logré disfrutar de los avatares de la ciencia. Sin duda, esa experiencia anticipada me proporcionó una ventaja para percibir el contexto y palpar las limitaciones de un país con poca tradición científica y exiguos recursos para invertir en ciencia. De manera intuitiva, había entendido lo que era hacer investigación en un país de bajos ingresos.

Reconozco que, en ese entonces, yo era un joven con ciertas pretensiones y con deseos de llegar a ser un científico. Aunque aceptaba las condiciones limitadas de trabajo, lejos estaba de razonar los problemas que más tarde tendría que enfrentar. Creía que una vez que obtuviera el doctorado en el extranjero, todo sería cuesta abajo. ¡Qué equivocado estaba! Ahora comprendo que la parte fácil fue obtener el doctorado. ¡La más difícil estaba por venir! Los años que siguieron como investigador en las universidades públicas de Costa Rica fueron duros y de grandes enseñanzas. Además, el bagaje que me dio participar en la educación de científicos jóvenes en Costa Rica y en Centro América, me ayudó a reflexionar sobre los problemas que enfrentaban los investigadores en los países pobres.

Con la experiencia requerida, me aventuré ese mismo año (2007) a proponer al Dr. Bourne, editor de *PLoS Computational Biology*, un artículo que narraba los exigencias y peripecias requeridas para convertirse en investigador en países de bajos ingresos. Todo en la línea de las 'Diez reglas sencillas...'. Como era de esperar, en un principio Bourne fue algo escéptico y precavido con la idea, por lo que primero solicitó un

borrador para examinarlo. Después de todo, él había sido la cabeza y autor de los populares ensayos de las 'Diez reglas sencillas...'" publicados a partir de 2005. Sin duda, mi propuesta era una injerencia en su idea central y la primera vez que se publicaría un artículo dentro del contexto de las 'Diez reglas sencillas...' sin la autoría de Bourne.

Aunque tenía las ideas claras de lo que deseaba expresar en ese artículo, necesitaba un balance que me impidiera 'desbocarme' en una retahíla de recetas que sonara más a un reclamo que a buenos consejos. Para eso recurrí a mi amigo y colega José María Gutiérrez, a quien invité a colaborar en la escritura de dicho ensayo. José María me parecía la persona idónea para ese proyecto. Además de ser un investigador excelso trabajando en Costa Rica y entrenado en los Estados Unidos, también había sido asistente de investigación en el Instituto Clodomiro Picado, bajo la tutela de Róger Bolaños, y había participado en el entrenamiento de jóvenes científicos en Costa Rica y en Centro América. Es decir, teníamos experiencias compartidas. Como era de esperar, Jose María aceptó con entusiasmo el reto, por lo que nos pusimos 'manos a la obra'.



Figura 8.1: El manuscrito *Ten simple rules for aspiring scientists in a low-income country* fue enviado para su revisión a *PLOS Computational Biology* en el año 2007, y finalmente publicado en el 2008. El artículo ha sido traducido a varios idiomas y ha servido como guía para investigadores jóvenes que desean realizar actividades científicas en su país de origen. El ensayo se puede revisar en: <https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1000024>. Adaptación del dibujo original de ChrisMadden, McCrimmons, Pinterest, www.pinterest.ca/pin/479633429043480211/

En cuestión de una semana ya teníamos el primer borrador para enviar a PLoS Computational Biology (Fig.8.1). El primer título que propusimos como encabezado fue el de 'Diez reglas esenciales para convertirse en un científico profesional en un país de bajos ingresos'. Este título respondía a la idea de que, en Costa Rica, así como en otros países de América Latina la mayoría de la ciencia se hace de manera *amateur*; es decir

carente de un sentido de responsabilidad profesional con respecto a la acción investigativa (Fig.8.2).

De acuerdo con las reglas usuales de la publicación científica, tres semanas después recibimos una carta con los comentarios de Bourne y de dos revisores. El ensayo les había gustado y estaban anuentes a publicarlo. Sin embargo, el título les pareció confuso y sugirieron incluirlo dentro del contexto de las “Diez reglas sencillas...” Por tanto, nos propusieron la condición de modificarlo, algo que aceptamos sin reparo. Finalmente, el ensayo se publicó en inglés el 30 de mayo de 2008 bajo el título de 'Diez reglas sencillas para aspirantes a científicos en países de bajos ingresos' (Moreno & Gutiérrez, 2008). Han pasado diez años desde que publicamos este ensayo y aunque algunas cosas han cambiado, el contenido del artículo está vigente. Después de una década, el sitio *web* en donde aparece el ensayo ha sido visitado ampliamente y el artículo fue libremente traducido a varios idiomas, entre ellos el chino, el árabe, el español, el portugués, el cirílico ruso y el indonesio.

Aquí procuraremos describir, con la mirada fresca y en el marco de un mundo cada vez más globalizado, la necesidad de transmitir nuestra experiencia a los jóvenes científicos para que destaquen y logren desarrollar ciencia endógena en sus países, acción necesaria para combatir la ignorancia y contribuir al bienestar de los pueblos.

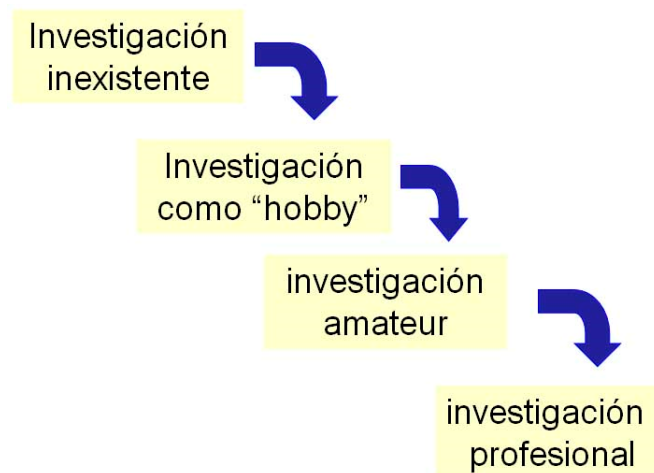


Figura 8.2: En las universidades públicas de Costa Rica, coexisten cuatro estratos respecto a la investigación científica. Estos se traslapan dentro de las mismas Escuelas, Facultades, Institutos y Centros de Investigación: **i)** la ausencia de investigación científica; **ii)** la investigación como *hobby*; **iii)** la investigación *amateur* y; **iv)** la investigación profesional. Esto es fácilmente constatable si se divide el número de docentes en estas instancias universitarias, entre las publicaciones científicas producidas por año, y más específicamente determinando los índices bibliométricos (ej. índice-h) para cada docente en la Internet. Generalmente los investigadores profesionales consolidados, publican al menos un trabajo por año.

8.2 El inicio del entrenamiento como científico

Un aspirante a investigador debe adquirir una educación rigurosa. Es mejor empezar temprano, pues la carrera científica es larga (Fig.7.3). En Costa Rica, como en la mayoría de los países de América Latina, las carreras universitarias están dirigidas primeramente a ejercer una profesión liberal. Por tal razón, el grueso de los grados universitarios corresponde a títulos para ejercer una profesión en el país de origen. Los otros diplomas son la Maestría Académica y el Doctorado Académico. Estos son los títulos que se requieren para proseguir una carrera científica, junto con otras acciones complementarias (Fig.8.3).

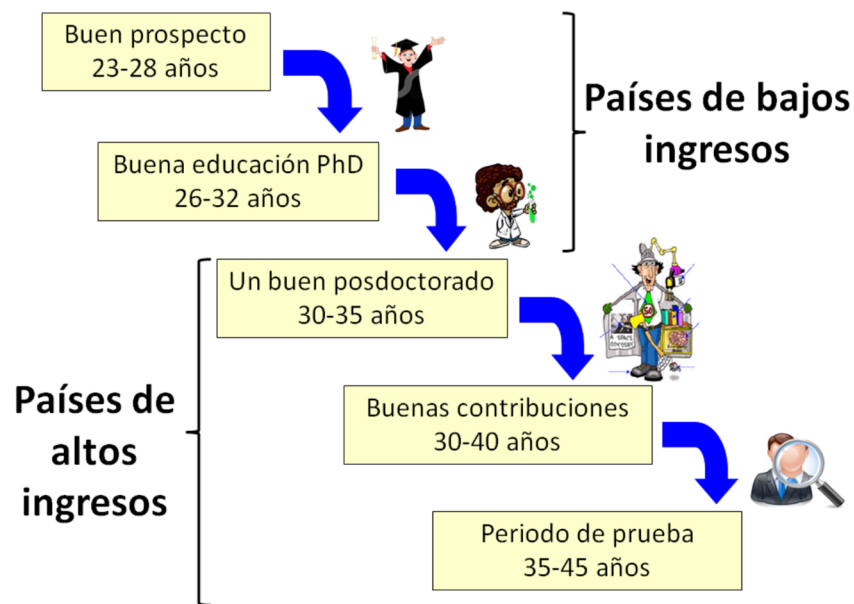


Figura 8.3: La carrera como científico es larga y requiere perseverancia. En los países de bajos ingresos, el promedio de graduación en el grado es más alto que en los países ricos. Por esta razón, el entrenamiento científico debe iniciarse lo más temprano posible y de manera sistemática. Entre más joven, mejor. En los países de altos ingresos es mandatorio realizar uno o dos posdoctorados, algo poco común en los países pobres. Los posdoctorados permiten desarrollar las habilidades investigativas de una manera independiente y dan la oportunidad de generar publicaciones pertinentes para optar por un puesto como investigador interino en alguna institución. Posteriormente, los investigadores jóvenes, deben someterse a un periodo de prueba en el cual demuestren que pueden hacer investigación, dirigir tesis y procurar fondos. Adaptado de: www.freepik.com/vectors/people.

Debido a que en los países de bajos ingresos las carreras profesionales son demandantes y dilatadas (5-7 años), el promedio de edad de graduación de los estudiantes es mayor que en Europa, Estados Unidos y Canadá, entre muchos otros países. Por esa razón, un estudiante con vocación para la ciencia, debe adelantar, en la medida de lo posible, los trámites para ingresar a un programa de maestría o de

doctorado. Es recomendable que lo haga por lo menos un año antes de obtener el título de grado (ej. Licenciatura). Esto no es trivial, ya que el destino que el candidato escoja para realizar sus estudios de posgrado, marcará la calidad del entrenamiento que obtendrá.

En el caso de Costa Rica y otros países de América Latina, por lo general hay tres opciones: **(i)** realizar los estudios de posgrado en el extranjero (en casi todos los países europeos, ricos de Asia, EUA o Canadá se puede ingresar al doctorado sin tener una maestría); **(ii)** hacer una maestría y un doctorado en el país de origen; o bien, **(iii)** iniciar un proyecto mixto en donde una parte del entrenamiento se hace en el país de origen (ej. la maestría) y la segunda (ej. el doctorado) en una universidad o instituto en el extranjero. Aquí no consideraremos la opción de estudiar en el extranjero tan pronto se sale del colegio o secundaria. Aunque existen otras posibles alternativas, aquí solo consideraremos las tres principales.

Como es de esperar, las diferentes opciones tienen sus pros y sus contras. Ir directamente a una universidad bien reconocida en el extranjero, después de obtener un título básico (ej. bachillerato o licenciatura) favorece una educación diversa y buena en un tiempo relativamente corto (4-6 años). Esta alternativa tiene el inconveniente de que el estudiante se desliga del medio nacional por varios años, lo que eventualmente puede hacer difícil su inserción laboral. La segunda opción tiene la ventaja de que el estudiante se mantiene en contacto con el medio; sin embargo, el tiempo de estudio casi siempre se extiende por 6-11 años (3-5 de maestría, 3-6 de doctorado) o más. Esto se debe a que las becas para realizar estudios de posgrado en el país de origen son inexistentes, o bien difíciles de obtener. Lo anterior obliga a los estudiantes a trabajar, por lo que solo pueden dedicarse a sus estudios parcialmente. Además, como consecuencia de la reducida comunidad científica, se promueve la llamada endogamia temática y conceptual - fenómeno negativo, tanto para la formación del candidato como para el país (Noriyuki *et al.*, 2015). Por último, los programas mixtos, aunque un poco más extensos que la primera alternativa (3-5 años de maestría y 3-5 de doctorado), son los que mejor se adaptan a las circunstancias de los países de bajos ingresos. Por un lado, se promueve una educación mixta, mientras que por el otro se percibe el contexto científico nacional y se facilita la inserción en el medio laboral. A esto hay que agregar que una maestría local, prepara mejor a los estudiantes para un doctorado fuera del país, pues las carreras profesionales casi siempre son deficientes en temas básicos que son los requisitos para la obtención de un doctorado y para la investigación.

8.3 ¿Qué sigue después del doctorado?

En los países de altos ingresos y en muchos otros, un entrenamiento posdoctoral es necesario si se quiere aspirar a una posición como investigador (Fig.8.3). Por el contrario, en el contexto de los países de bajos ingresos - hasta hace poco - los estudios posdoctorales se consideraban una curiosidad excesiva. Sin embargo, cada vez es más evidente la necesidad de que los aspirantes a científicos de los países pobres adquieran un entrenamiento posdoctoral. Esto se debe a que los requisitos que proponen las

instituciones dedicadas a la investigación científica son cada vez más exigentes, y un doctorado por lo general no alcanza.

Contrario a la creencia popular, el posdoctorado no conduce a la obtención de ningún título universitario o de otra índole. El posdoctorado es un entrenamiento remunerado (o becado) de cerca de dos años, bajo la supervisión de un líder científico en un centro de investigación. Durante este período, el posdoctorante debe realizar un proyecto relacionado con el tema central del instituto o laboratorio en el que realiza su entrenamiento y generar una o varias publicaciones de buen impacto. Además, debe participar en la elaboración de propuestas de investigación para obtener fondos, e impartir seminarios en congresos. Es frecuente que el líder del grupo asigne al posdoctorante uno o dos estudiantes (de maestría o de doctorado) para que los entrene en labores específicas. El posdoctorado es el momento en el que el candidato empieza a afinar la escritura de manuscritos científicos de forma más independiente. En algunos casos, al posdoctorante se le asignan pequeños cursos o clases. Los detalles de cómo aplicar y establecer las condiciones para un entrenamiento posdoctoral se pueden encontrar en las lecturas relacionadas con el tema (Yuan *et al.*, 2016; Bruckmann & Sebestyén, 2017).

8.4 Cómo seleccionar al tutor y al centro de investigación

Esta obra dedica un capítulo específico a la relación entre el tutor y el estudiante (Capítulo 11), por lo que aquí solo haremos algunas recomendaciones básicas para la escogencia del tutor y grupo de investigación, para realizar estudios de maestría, doctorado, y posdoctorado.

Cuando se inicia la búsqueda de programas de maestría y doctorado, a menudo se tiene una idea vaga acerca de la institución o del posible supervisor. Por tanto, hay que hacer una investigación al respecto. Para eso, es conveniente que el estudiante establezca un orden, como sigue: **(i)** hay que tener clara la disciplina a elegir (ej. Bioquímica, Inmunología, Bacteriología, Salud Pública, etc.) y el tema general dentro de esa disciplina (ej. metabolismo, inmunidad innata, bacterias intracelulares, calidad del agua, etc.); **(ii)** hay que identificar a los expertos en esas disciplinas y temas; y **(iii)** hay que ponerse en contacto con el eventual tutor y con la institución, expresando su interés en trabajar con ellos para la obtención de una maestría o doctorado. Para eso, generalmente se requieren cartas de recomendación, presentar las calificaciones y otros requisitos que establece cada programa. Mientras el primer punto es idiosincrático y pertinente a cada persona, los otros dos son esenciales, ya que el futuro y en gran parte el éxito de los estudios de maestría y doctorado dependerá de la escogencia del tutor.

Es esencial investigar la experiencia del tutor, analizando su currículum. Este debe demostrar publicaciones recientes en el tema concreto y experiencia en la conducción de estudiantes de posgrado. Además, deben investigarse las facilidades del centro en el que labora el tutor, así como la obtención y disponibilidad de fondos. La experiencia del tutor debe ser proporcional con el tiempo que lleva en investigación. Por lo general, los investigadores jóvenes tienen un currículum más modesto; sin embargo, eso no los excluye

como tutores potenciales (ver [Capítulo 11](#)). Es conveniente consultar a profesores y a otros estudiantes de posgrado que hayan tenido relación con el supervisor potencial (a menudo hay información disponible en el sitio *web*) para preguntarles sobre su experiencia. Casi siempre, cuando se localiza al tutor pretendido, se establece al mismo tiempo la institución a la que se desea asistir. Aunque existen otras, esta es una buena estrategia para identificar instituciones y supervisores.

Un aspecto importante para tomar en cuenta, es el tamaño de grupo de investigación. Un grupo grande y de gran prestigio garantiza buenos recursos para realizar investigación y diversidad de personas. Sin embargo, la relación con el tutor es por lo general más lejana y limitada debido a las múltiples obligaciones que el tutor tiene. Por otro lado, un grupo mediano o pequeño, que tenga un prestigio proporcional a su tamaño y al tiempo que lleva en investigación, ofrece la ventaja de interacciones más cercanas y una guía más personalizada. Las dos alternativas son viables. Todo depende de la personalidad de cada quien y de cómo se adapte cada candidato a las circunstancias. En nuestros países, es frecuente que los estudiantes se dejen impresionar por los profesores de los cursos, pensando que todos son científicos con la capacidad de dirigir tesis de maestría y doctorado. Aunque así debería ser, esa no es la realidad del entorno local. La verdad es que una gran proporción de los docentes no son activos en investigación, o bien realizan una investigación *amateur* ([Fig.8.2](#)). Los títulos académicos no son suficientes y es frecuente que en los países de bajos ingresos existan directores de tesis llamados sarcásticamente 'asesinos en serie'; es decir, personas que asumen estudiantes de una manera irresponsable, sin tener el tiempo, las calificaciones, la experiencia, o la voluntad para dirigir tesis de posgrado. Es cierto que a veces coinciden los intereses del candidato con los del supervisor potencial; sin embargo, la amistad o la primera impresión no debe tentarnos. Es esencial que los estudiantes escojan al tutor y no viceversa (aunque el tutor también hará su escogencia; ver [Capítulo 11](#)). Los estudiantes deben evitar a toda costa caer en manos de personas que no tienen los requisitos para dirigir estudiantes de posgrado o posdoctorado. Lo anterior, comúnmente conduce al fracaso y frustración del estudiante. Esto funciona tanto para los estudios de maestría, de doctorado o de entrenamiento posdoctoral. La empatía entre el tutor y el estudiante es importante y no debe subestimarse ([Capítulo 11](#)).

8.5 Las estrategias para obtener una posición laboral

Como mencionamos, obtener un puesto laboral como científico es cada vez más difícil. Si bien esto se aplica a todos los países, el asunto es más grave en los países de bajos ingresos. Esto se debe al reducido número de instituciones dedicadas a la investigación científica en estas latitudes, lo que se puede constatar fácilmente en la página de *Internet Jobs in Science & Technology from Science Careers* (<https://jobs.sciencecareers.org/>). Es cierto que algunos pocos candidatos a investigadores son capaces de resolver su proyecto laboral con premura (ej. durante la licenciatura). Esto es la excepción y la mayoría de los candidatos requiere un tiempo de espera importante. En nuestra experiencia, los científicos que se deciden por una educación mixta tienen más opciones de insertarse en el medio, por las razones que mencionamos anteriormente. Sin embargo, esto no es una regla y los concursos son cada

vez más rigurosos. Incluso para los jóvenes que deciden realizar todo su entrenamiento en el país de origen, las cosas no son fáciles, pues deben competir con candidatos que vienen del extranjero, muchas veces con mejores *curricula* y buenas publicaciones. En este sentido, siempre es conveniente combatir la endogamia realizando pasantías en centros de investigación o en universidades de primer orden. Lo anterior mejora el entrenamiento y proporciona mayor equilibrio conceptual. De esta manera se logran mejores competencias para optar por un trabajo.

Una recomendación es explorar el ámbito laboral antes de concluir los estudios o entrenamiento posdoctoral, de tal manera que se tengan claras las opciones y las necesidades. En los países de bajos ingresos el grueso de las posiciones de investigación están dentro de las facultades y centros de investigación de las universidades públicas. En menor medida, existen instituciones públicas como los ministerios, los hospitales y los organismos autónomos, que permiten investigar de manera más restringida. Finalmente hay escasas oportunidades dentro de la industria, ONGs y en empresas privadas, algunas de ellas dedicadas a la enseñanza. Todo esto hay que tomarlo en cuenta. Es necesario establecer contactos locales y acercarse a los diferentes centros de investigación y facultades, anunciando interés, disposición y la fecha aproximada en que se podría incorporar a la institución. Impartir seminarios sobre los avances de las investigaciones realizadas durante los estudios o entrenamiento posdoctoral, es una estrategia conveniente. Hay que indagar sobre las plazas disponibles en el futuro y distribuir el currículum para que lo tengan presente los empleadores. A veces hay que aceptar trabajos parciales y ciertos sacrificios laborales. En el caso de los puestos dentro de las universidades, es importante demostrar capacidad y experiencia para la docencia. En ese sentido, se deben aprovechar las oportunidades que se presenten para impartir clases. Con el tiempo, las personas que están cerca de las instituciones, son las que tienen más opciones. Un currículum pertinente, la paciencia, y demostrar interés, son requisitos esenciales si se desea establecer en el país de origen.

8.6 Los problemas de la idiosincrasia criolla

La presunción de que un doctorado, un posdoctorado y algunas publicaciones que se hicieron durante esos entrenamientos garantizan el éxito como investigador, es algo que debe erradicarse. El entrenamiento académico es tan solo la primera parte. La carrera como investigador independiente o asociado, apenas comienza (Fig.8.3). Por diversas razones, desarrollarla en un país de bajos recursos es mucho más difícil que hacerlo en un país rico (Cuadro 8.1).

Una vez que ha ingresado a una institución, el joven investigador tiene que hacer frente a las limitaciones y vicisitudes que caracterizan a los países de bajos ingresos (Cuadro 8.1). Un problema idiosincrático que los recién llegados deben afrontar, se refiere a la percepción de la ciencia en su país. En estas latitudes la ciencia se considera como una curiosidad y en el mejor de los casos una actividad marginal, de la que la mayoría de la gente entiende poco (De la Peña, 2005; Márquez-Nerey & Tirado-Segura, 2009). Esto es más acentuado en el gremio político. Por lo general el Estado margina a los ministerios o consejos para la promoción de la ciencia, con fondos exiguos y muchas

veces ridículos, convirtiéndolos en los 'parias' de las instituciones públicas. Incluso, dentro del contexto universitario existen gremios 'anti-ciencia' que estiman que la investigación es una pérdida de tiempo que interrumpe el espacio que se debe dedicar a la docencia.

Cuadro 8.1: Comparación de algunos elementos necesarios para el desarrollo de la ciencia en países de bajos y altos ingresos.

Países de bajos ingresos	País de altos ingresos
Poca tradición científica	Mucha tradición científica
Predomina la investigación amateur	Predomina la investigación profesional
Pocos grupos de investigación	Muchos grupos de investigación
Pocas instituciones científicas	Muchas instituciones científicas
Poco financiamiento	Mucho financiamiento
Posgrados débiles	Posgrados robustos
Pocas becas para estudiantes	Muchas becas para estudiantes
Edad de graduación Ph.D. >30	Edad de graduación de PhD <30
Ausencia de posdoctorantes	Presencia de posdoctorantes
Ambiente científico local	Ambiente científico internacional
Lengua local	Lengua franca: inglés
Bibliotecas intermedias	Bibliotecas excelentes
Docencia sin investigación	Docencia con investigación
Falta de redundancia	Redundancia disciplinaria
Mucha endogamia	No hay endogamia
Falta de competitividad	Alta competitividad
Contratación endogámica	Contratación exogámica
Muchos distractores	Pocos distractores
Revistas científicas de bajo impacto	Revistas científicas de alto impacto
Pocas publicaciones	Muchas publicaciones
Pocas patentes	Muchas patentes

La investigación, antes ser una acción individual, es un trabajo colectivo, tanto en lo intelectual como en la praxis. Por tanto, la carencia o ausencia de pares con los mismos intereses en un tema concreto de investigación, es un asunto delicado y conduce a cierto grado de frustración. En el caso de las personas que se han entrenado dentro de un grupo nacional, deben combatir la endogamia (Noriyuki & Shibayama, 2015), como mencionamos anteriormente.

Una circunstancia obvia en los países de bajos ingresos es la carencia de recursos para investigar (Ciocca & Delgado, 2017). La falta de recursos para becas de estudiantes, contratar técnicos, viajar a congresos, equipar laboratorios y comprar los bienes necesarios para la investigación, es un mal crónico que caracteriza al medio. La obtención de estos y otros recursos requiere tiempo y esfuerzo: es parte del camino que un investigador de un país como Costa Rica tiene que recorrer.

En el pasado, la obtención de bibliografía científica en los países pobres presentaba enormes dificultades. Gracias a la Internet y al llamado 'Open Access', esto se

ha resuelto parcialmente y en la actualidad es posible obtener un volumen pertinente de literatura científica (McKiernan *et al.*, 2016). Sin embargo, ha surgido otro problema: el costo de las publicaciones se ha trasladado a los científicos (entre 1300-6000 US\$/manuscrito). Lo anterior limita el alcance real que tienen los investigadores de los países pobres para publicar en las diferentes revistas (Zachariah *et al.*, 2014). Entre más prestigiosa es la revista, más cara es. En este sentido, la consecución de fondos y de estrategias para publicar son esenciales, tal como se describe en el capítulo respectivo (Capítulo 5).

A lo anterior, debemos agregar que han surgido una gran cantidad de revistas llamadas 'depredadoras' (ver Capítulo 10). Estas revistas carecen de rigurosidad científica y son negocios dirigidos a engañar a la gente. Sus 'editores', salen inescrupulosamente a la caza de investigadores ingenuos que necesitan publicar sus trabajos de manera expedita (Gasparyan *et al.*, 2017). Es desafortunado que sean los jóvenes investigadores de los países de bajos ingresos las principales víctimas de esta acción perversa (Clark, 2018). Es importante abstenerse de publicar en tales revistas: además de dañar a la ciencia, se pone en riesgo la credibilidad y el prestigio de los investigadores, lo que termina arruinando sus carreras.

8.7 La adaptación al entorno y la evasión de los distractores

Quizá uno de los mayores peligros para los científicos jóvenes trabajando en países como Costa Rica, son los factores distractores. Estos son una amenaza para la investigación científica. Entre ellos tenemos el exceso de carga docente, las numerosas comisiones, los voluminosos reportes, la carga administrativa, las múltiples reuniones y asambleas, la interrupción de labores esenciales durante los días feriados y vacaciones, la intensa vida social, las tentaciones de acceder a puestos administrativos y las influencias nocivas. Además, en el caso de instituciones públicas como los ministerios o instituciones autónomas, los jóvenes investigadores, deben hacer frente a las responsabilidades que demandan las asignaciones laborales para las que fueron contratados y la creciente burocracia. El lector que tenga algo de experiencia en los avatares de estos países puede imaginar muchos distractores más.

Las dificultades frecuentemente conducen a la fatiga y a veces a la desilusión. A pesar de las vicisitudes, es necesario que los científicos conozcan y disfruten la idiosincrasia y las ventajas comparativas que ofrece la institución y el país en donde se laboran. No todo es malo. Hay que recordar que la motivación principal fue, y ha sido, la actividad científica. Por tanto, los investigadores tienen que enfrentar la diversidad de circunstancias y problemas con aplomo, manteniendo presente que la meta principal es investigar. Por eso es necesario que los investigadores identifiquen y eviten a los distractores.

En los países de bajos ingresos la docencia es necesaria y constituye el mejor procedimiento para identificar a futuros estudiantes y a potenciales colegas, particularmente en los posgrados. A pesar de ello, hay que resistirse al exceso de carga académica docente, ya que la saturación de clases impide realizar investigación. Esto es

vital. Algo que casi siempre funciona es no declararse 'experto universal' y expresar sin reparos las limitaciones para impartir cierto tipo de cursos. En este sentido lo más conveniente es incorporarse a programas docentes colegiados, en donde participen varios profesores, de manera que el tiempo de clases se distribuya. Se debe luchar por espacios para investigar y recordar que la investigación enriquece a la docencia y que frecuentemente los mejores investigadores también son los mejores docentes, como lo atestiguan varios estudios (Radford, 2011).

Para aquellos que laboran en instituciones públicas no universitarias (ej. ministerios, hospitales, instituciones autónomas, etc.) en las que deben realizar un trabajo profesional, el asunto es aún más difícil. Por lo general, las gerencias y direcciones de esas instituciones tienen poco interés en la investigación. Por eso es necesario buscar los espacios pertinentes dentro del ámbito laboral. Una recomendación es asociarse con investigadores que tengan intereses similares, ya sea dentro de la misma institución o fuera de ella (ej. de las universidades). Esto ayuda y proporciona un sustrato importante para alcanzar las metas. Es recomendable que los temas de investigación y las preguntas científicas no se alejen del contexto laboral; de otra manera se dificulta la consecución de los objetivos. Es frecuente que el trabajo cotidiano proporcione las preguntas pertinentes y los recursos necesarios. Además, los directores y coordinadores, siempre estarán más anuentes a aceptar proyectos de investigación relacionados con los intereses y los temas propios de la institución.

Hay que evitar la 'reunionitis' y asistir solo a aquellas reuniones que sean verdaderamente útiles y constructivas. Es imperante evitar las reuniones triviales y en la medida de lo posible, abstenerse de participar en comisiones alejadas de las acciones relacionadas con la investigación. Se deben evitar las confrontaciones con el personal administrativo, asistente y técnico en la medida de lo posible. Ellos tienen el poder para obstaculizar las acciones propuestas. Por el contrario, es conveniente explicarles y demostrar empatía hacia ellos, de tal manera que se tornen aliados de la investigación. La solidaridad y el entendimiento de las perspectivas de esos grupos son elementos necesarios para lograr el éxito de los objetivos planteados.

Quizá uno de los mayores distractores de los investigadores en Costa Rica y en otros países de América Latina, es la tentación de acceder a puestos jerárquicos de administración, como coordinadores, directores, decanos, vicerrectores, rectores, presidentes, etc. Los incentivos salariales y el poder temporal son 'anzuelos' difíciles de evadir. Mientras algunos puestos, como el de coordinador de investigación, o participar en comisiones de posgrado, son compatibles con la investigación, otros como decano, vicerrector, rector, viceministro o ministro son absolutamente incompatibles. Casi siempre tener un puesto administrativo limita el tiempo para la investigación y entre más alta sea la jerarquía administrativa del puesto, mayor será la exclusión y el alejamiento de la investigación científica. El tiempo perdido en investigación es muy difícil de recuperar. Hay que tener presente la pasión que condujo a iniciar una carrera científica. En perspectiva, esto se comprenderá en el futuro, una vez que se haya logrado una carrera científica consolidada. Con el tiempo, una carrera científica otorga

beneficios, genera mayores grados de libertad y permite mejores opciones (The Editors, 2012).

Existen personas nocivas que son distractores de la actividad científica. Ellas se quejan constantemente, son ociosas y se dedican a promover actividades ajenas a la investigación. Por lo general, ellas trabajan en la misma institución en la que los científicos laboran. Estas personas se aprovechan de los individuos susceptibles, que demuestran cierta fragilidad al enfrentar problemas. Los empleados ociosos son una influencia perversa difícil de evadir, que tiende a alejar a los científicos jóvenes de su vocación como investigadores y volverlos poco productivos. Ellos son 'atractores' negativos. No hay que 'caer en el juego', sino evitarlos. Algo importante es evitar quejarse de manera reiterativa y constante, especialmente enfrente de los estudiantes y otros investigadores. Los quejumbrosos se tornan también atractores negativos de personas desmotivadas y mediocres.

Es común que a los jóvenes investigadores se les reconozca su trabajo de tesis (en particular las que se hicieron en el extranjero) con algún premio (ej. Premio Nacional de Ciencia, premio TWAS, premio IFS, etc). Aunque esto es un buen aliciente, es importante que los científicos jóvenes no sobrevaloren estos reconocimientos, ya que en sí mismos pueden convertirse en un distractor. La adulación en torno a estos premios contribuye a exacerbar la necesidad de nuevos logros, lo que puede llevar a la frustración si estos no se obtienen en un tiempo corto. Muchos de estos investigadores jóvenes que son reconocidos con premios tempranos terminan desilusionados al no repetir sus 'hazañas' y son presa fácil de otros distractores que brinden satisfacción a corto plazo (ej. puestos de poder administrativo). Por eso, a los premios hay que disfrutarlos sin creérselos demasiado. El mejor premio es siempre, a largo plazo, la satisfacción de ver el trabajo científico concluido con éxito.

Afrontar las vicisitudes con optimismo e imaginación y resolverlas en orden, es fundamental. No se pueden solucionar todos los problemas al mismo tiempo. Uno a la vez, y en la medida de lo posible formar alianzas para abordarlos. Es más fácil enfrentar a los problemas cuando se enfrentan en grupo. Ellos se solventan mejor.

8.8 La unión hace la fuerza

Una estrategia que ayuda a aliviar la carga de los jóvenes investigadores, es identificar a los científicos (consolidados o nuevos) del entorno y procurar unirse a ellos, de tal manera que se incorporen a un grupo o formen un nuevo grupo científico. Como parte de un grupo, los investigadores pueden compartir afinidades filosóficas y si fuera posible, afinidades temáticas. Desafortunadamente lo segundo es más difícil, debido a la carencia de redundancia temática de científicos en los países de bajos ingresos. El hecho de compartir una visión sobre la ciencia ayuda a enfrentar a los problemas cotidianos y a resolverlos en grupo. Además, aunque el tema de investigación dentro un grupo no sea el mismo, el intercambio de ideas siempre es constructivo. Es conveniente colaborar, y en lo posible pactar un tema común de investigación con el grupo, de tal manera que se facilite la cohesión. Por otro lado, el trabajo en grupo facilita la consecución y

administración de fondos para investigación, la docencia, y promueve la producción científica, ya que se tiene más oportunidades de participar como coautor de los trabajos que se realizan (García-Hernández, 2012). Hay que recordar siempre que la mejor manera de ayudarse a sí mismo es ayudar a los demás.

También es necesario establecer, mantener y expandir las colaboraciones internacionales. Esto no es fácil y requiere de un gran esfuerzo (Leydesdorff & Wagner, 2008). En un principio, lo más fácil es continuar colaborando con el grupo en donde se realizaron los estudios o el entrenamiento doctoral o posdoctoral. Además, durante los estudios y posteriormente durante toda la actividad científica, es necesario asistir a congresos para conocer a los investigadores con los que es posible establecer colaboraciones. Por lo general, las mejores colaboraciones en ciencia, como en otras disciplinas, empiezan por intereses comunes y relaciones empáticas. Siempre es conveniente ofrecer algo, antes de pedir. Es bien sabido que los científicos más exitosos son los que más colaboran, interna y externamente (Leydesdorff & Wagner; 2008García-Hernández, 2012).

Una manera de iniciar la relación y cohesión con investigadores locales más consolidados y establecidos, es compartir la tutoría de estudiantes de posgrado en algún tema de interés común. Esto dará la oportunidad de entrenarse como tutor y consejero, lo que es esencial para la evolución de una carrera científica. Al mismo tiempo, se puede iniciar la tutoría de estudiantes para proyectos de graduación de licenciatura y en algunos casos de maestría. Para tener estudiantes de doctorado y posdoctorantes, hay que esperar a estar más consolidado. Si bien los estudiantes son un recurso esencial para la investigación, es importante que al principio se tenga pocos estudiantes, de tal manera que se les pueda dedicar el tiempo pertinente para guiarlos. El capítulo relacionado con las tutorías, explica ampliamente y en detalle las condiciones y herramientas que se necesitan para ser un buen tutor (Capítulo 9).

8.9 El tema de investigación

Cuando se inicia una carrera científica en un país de bajos ingresos, hay que atender con cuidado el tema de investigación. Es común y entendible que un investigador joven que vuelve a su país proveniente de una nación rica, quiera continuar con el mismo tema de investigación que realizó durante su entrenamiento doctoral o posdoctoral y perseguir las mismas preguntas que con tanto esfuerzo se planteó. Esto en sí no tiene nada de malo. Sin embargo, es importante plantearse algunas disyuntivas que pueden ser problemáticas y que se deben considerar.

La investigación en instituciones de países ricos avanza más de prisa que la investigación en los países pobres. Las razones para esto son obvias, y tienen que ver tanto con los recursos como con el entorno que rodea a las instituciones de investigación de los países de bajos ingresos. Pensar que las preguntas que se plantean en los laboratorios bien desarrollados y consolidados se pueden resolver en el mismo tiempo y con la misma eficiencia en un país de recursos limitados, es un error. La competencia en ciencia es fuerte y trabajar en temas cuya predominancia esté en los países ricos es

poco realista e inconveniente cuando se inicia una carrera científica (en particular con las carencias y dificultades que señalamos antes). Por tal razón, y tomando en cuenta los intereses científicos, es fundamental replantearse el tema de investigación y las preguntas por resolver.

Hay que procurar evadir los temas muy competitivos o al menos las preguntas altamente competitivas dentro de ese tema, pues como mencionamos, los grandes laboratorios llevan la delantera. Lo anterior pone trabas y dificulta la publicación de los resultados de las investigaciones. Esto no quiere decir que no se deban plantear preguntas interesantes. Sin embargo, es conveniente buscar estas preguntas relevantes dentro de un nicho en el que se tengan 'ventajas comparativas' con respecto a otros grupos de investigación. Es decir, espacios de investigación que no hayan sido explorados o bien poco investigados, que permitan resolver las preguntas a un ritmo adecuado, sin ser hostigados por la competencia. La mayoría de las ventajas comparativas, provienen del mismo entorno 'subdesarrollado' en donde se vive y labora. Por ejemplo, se pueden escoger modelos animales, de plantas o de enfermedades que sean endémicas en el país, sin representación o poca representación en otras latitudes.

Aunque la investigación se haga sobre temas locales, con el tiempo se establecen como modelos universales que pueden impactar a la ciencia globalmente. Han sido los modelos modestos como los de la mosca de la fruta, el pez cebra y los gusanos de tierra los que han dado lugar a más premios Nobel que en otros temas y han resuelto problemas científicos de gran envergadura. Aunque haya preguntas dentro del contexto de los países pobres que son difíciles de resolver de manera eficiente y expedita, eso no debe desalentar al investigador joven. En ciencia sobran las preguntas; solo hay que plantear y descubrir aquellas que se adaptan mejor al medio en el que nos desenvolvemos.

8.10 Escribir y comunicar los resultados

La investigación científica, antes de darse como un fenómeno aislado, se presenta en el marco de una comunidad, la cual además de ser local es global. Por eso, los científicos deben comunicarse entre ellos y con su entorno social (Radford, 2011). En este contexto, son las publicaciones la principal carta de presentación de los investigadores. Aunque es más importante la calidad de las publicaciones que su cantidad, nunca hay que subestimar el número. De la producción científica depende el impacto que se tenga en la disciplina, la ascensión como investigador y los recursos que se pueden obtener. Por esta razón, la investigación solo concluye cuando los resultados han sido publicados en una revista reconocida y avalada por la comunidad científica (Capítulo 6). Como mencionamos, hay que ser precavido con las revistas depredadoras, cazadoras de investigadores novatos.

Es bien sabido que, durante la escritura de un trabajo científico, se consolidan las ideas y se establece un orden en la síntesis de la investigación. Además, se identifican las cosas que faltan por hacer y se generan nuevas ideas. Los investigadores independientes o asociados deben escribir propuestas para obtener fondos, viajar a congresos, lograr

becas para estudiantes y técnicos, y establecer colaboraciones. Por tanto, hay que desarrollar la capacidad de comunicación, tanto oral como escrita, y disfrutar la escritura como una actividad creativa y permanente. Para eso, es necesario dominar los diferentes 'idiomas' que requiere la ciencia contemporánea: el inglés, la informática, la estadística y las matemáticas.

Querámoslo o no, el inglés es la *lingua franca* de la ciencia. Por tanto, es necesario estudiarlo a profundidad. Aquellos científicos de países de bajos ingresos que mejor escriben el inglés tienden a ser los más exitosos (Fig.7.4). Lo más importante es escribirlo correctamente y conocer la jerga científica apropiada. Casi siempre la comunidad científica acepta que los científicos cuya lengua materna no es el inglés, hablen con acento marcado e incluso cometan errores de pronunciación y algunos gramaticales. Lo que la comunidad científica no tolera es que los manuscritos que se someten a revistas científicas tengan errores de sintaxis, gramaticales y de presentación. Cuando esto sucede los artículos son rechazados *ad portas*. Por tanto, si los investigadores no pueden comunicarse de manera efectiva con sus colegas y con el público en general, es probable que el trabajo científico sea percibido como poco importante. De hecho, si la comunicación no es apropiada, entonces se podría argumentar que el trabajo científico tampoco lo es (Capítulos 6 y 7).

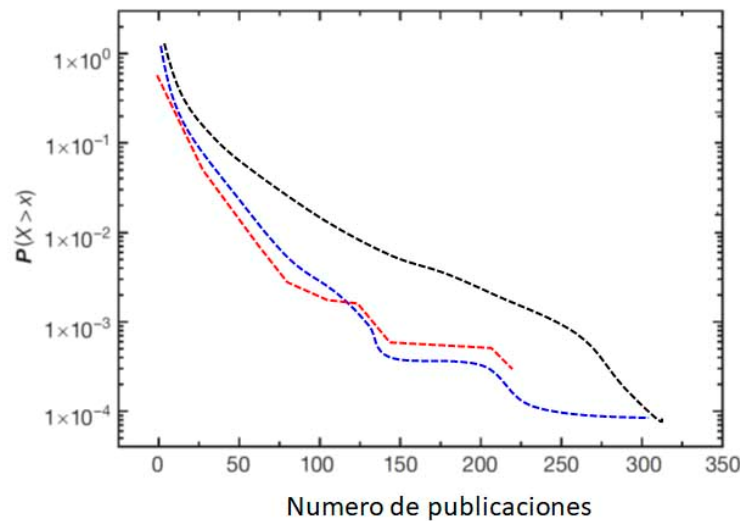


Figura 8.4: Comparación del número de publicaciones con respecto al dominio del idioma inglés. El gráfico muestra la función de distribución complementaria acumulativa de investigadores con diferentes habilidades para escribir inglés. Negro: buena habilidad; azul, habilidad media; rojo habilidad baja. $P(X > x)$ es la probabilidad de que la variable X (el número total de investigadores con un número dado de artículos en cada grupo) sea más alto que el valor promedio dado. Es claro que entre más alto es el conocimiento del inglés hay mayor probabilidad de generar publicaciones. Adaptado de Vasconcelos *et al.* (2008).

Independientemente de la disciplina, es evidente que la ciencia contemporánea requiere cada vez más que los investigadores dominen programas computacionales y cibernéticos tales como: **(i)** escritura, corrección de sintaxis, revisión ortográfica y ordenamiento de referencias; **(ii)** dibujo con procedimiento de vectores y pixeles; **(iii)** métodos de almacenamiento de datos, creación de gráficas y de mapas; **(iv)** análisis de *megadata*, como aquellos que requieren para examinar secuencias de nucleótidos y de proteínas, así como de estructuras uni-, di- y tridimensionales; **(v)** sistemas de búsqueda bibliográfica y bibliométrica; **(vi)** paquetes y programas estadísticos. Además, los jóvenes investigadores deben tener un conocimiento adecuado de la estadística y entendimiento de por lo menos algunos sistemas matemáticos que le permitan el análisis de los resultados y la elaboración de modelos.

Desafortunadamente, dentro de los países de bajos ingresos, todavía existe 'miedo escénico' y aversión por las matemáticas (para referencia visitar: <https://beta.iadb.org/es/sectores/educacion/america-latina-y-el-caribe-en-pisa/inicio>). Esto es más evidente dentro de ciertas disciplinas científicas como la biología y las ciencias biomédicas. Actualmente, la ciencia en todas sus dimensiones requiere diseñar modelos complejos que tengan una perspectiva cercana a las realidades naturales, y para eso es necesario recurrir a la estadística y a las matemáticas. Por eso hay que hacer un esfuerzo adicional. Mientras la estadística y las matemáticas se pueden estudiar como parte de la educación formal universitaria, los sistemas computacionales generalmente se aprenden de manera autodidacta y se requiere disciplina para adquirirlos.

8.11 La obtención de fondos para la investigación

La ciencia no existe en el vacío y se requieren fondos para su ejecución. No hay que tener pena ni vergüenza de pedir dinero y recursos para hacer investigación, y en la medida de lo posible, desarrollar habilidades políticas y estrategias de convencimiento. Aún aquellos que se dedican a la llamada 'ciencia teórica', requieren recursos. Por tanto, se debe aplicar insistentemente a concursos en agencias nacionales e internacionales para la consecución de los fondos necesarios para cumplir los objetivos propuestos. Esta no es una actividad sencilla, particularmente en nuestros países, ya que los recursos son muy escasos. La mejor carta de presentación son las publicaciones y un currículum proporcional al tiempo que se ha dedicado a la investigación.

Entrenarse en la escritura y elaboración de propuestas de investigación es esencial (**Capítulo 5**). Lo mejor es iniciar con pequeñas propuestas, que tengan requisitos sencillos y que requieran poca elaboración. Es una manera de iniciarse y adquirir experiencia en la consecución y administración de fondos. Sin lugar a duda, la mejor carta de presentación para obtener fondos son las publicaciones, pues ellas son la única forma de demostrar la investigación que se realiza. Una estrategia pertinente al inicio de una carrera científica, es aliarse con un investigador consolidado, ya sea local o en el extranjero, el que sirve para respaldar la propuesta. Hay que ponerse en contacto con las agencias y solicitar la información pertinente. Existen agencias y programas

dedicados a financiar a investigadores en países de bajos ingresos. Es necesario identificar a esas fuentes de recursos.

Escribir una propuesta de investigación es un arte diferente al de escribir un trabajo científico y una buena propuesta no convierte necesariamente a la ciencia mediocre en exitosa. Sin embargo, es frecuente que una propuesta mal presentada, mantenga a la buena ciencia desfinanciada. Escribir bien no salva las ideas, pero escribir mal mata a la buenas. Existen varios libros dedicados a la redacción y consecución de estrategias para escribir propuestas de investigación. En este sentido recomiendo varias lecturas que pueden servir como guía para escribir propuestas de investigación (Sternberg, 2014; Oster & Cordo, 2015), así como la lectura del [Capítulo 5](#).

8.12 Es necesario convertirse en experto

Debido a la carencia de científicos, la dispersión temática es un mal frecuente entre los investigadores de países de bajos ingresos. Aunque la dispersión temática puede generar varias publicaciones, limita el reconocimiento por parte de la comunidad científica, pues la actividad investigativa se diluye en múltiples trabajos no concatenados. Si bien es importante adquirir una cultura científica amplia (y ojalá también universal), los 'todólogos' que cambian constantemente de tema de investigación, son mal vistos. Un currículum con un *popurrí* de publicaciones, ayuda poco y muestra inconsistencias. La ciencia es una carrera de resistencia y persistencia, por lo que cambiar de tema constantemente demuestra inmadurez científica y oportunismo temático.

Dentro de este contexto, es necesario lograr un elevado grado de *expertise* en un área específica de la ciencia. Convertirse en un experto proporciona ventajas comparativas y ayuda a enfrentar las carencias inherentes de los países pobres. Para eso, hay que dedicar esfuerzo a responder preguntas científicas en el contexto de un tema específico de investigación por largo tiempo. No basta con estudiar el tema a profundidad, hay que investigarlo de manera exhaustiva, tomando en cuenta todas las aristas alrededor de él, hasta dominarlo. Una vez que se logra ese dominio el investigador no solo es capaz de distinguir las preguntas científicas relevantes con mayor facilidad, sino que se vuelve una pieza esencial de referencia dentro de la comunidad científica y acumula publicaciones. Es decir, se crea una dependencia positiva, a la que deben recurrir los investigadores locales y de otras latitudes. El científico experto se vuelve un 'atractor' para los buenos estudiantes, los colaboradores, la obtención de recursos para la investigación y la generación de conocimiento y publicaciones.

8.13 La solidaridad y conciencia social

Los científicos de países de bajos ingresos no deben aislarse del contexto en donde viven y realizan su trabajo de investigación. Si bien dedicarse a la investigación y a la formación de nuevos talentos es loable, hay que ir más allá e identificar a los problemas sociales y ambientales que aquejan a las naciones, de tal manera que permita

contribuir positivamente. No es necesario abandonar los objetivos de la investigación. Las acciones solidarias, particularmente en tu entorno, son compatibles con la investigación científica.

Dentro del contexto, en la investigación siempre existe una arista social, o bien un elemento que puede contribuir a preservar el medio ambiente, a popularizar el conocimiento, a combatir la ignorancia, a erradicar la superstición, a enfrentarse a la mala praxis, y a oponerse a las ideologías y a decisiones políticas dañinas. La participación en la solución de problemas contribuye a la inserción dentro del medio nacional y ayuda a entender el contexto en el que se desenvuelve la actividad científica. En muchas ocasiones, el conocimiento de una determinada problemática social o ambiental, proporciona elementos para enriquecer la investigación, al mismo tiempo que se retribuye a la sociedad y se ayuda a preservar a la naturaleza.

El desarrollo de la ciencia endógena es necesario para el porvenir y un instrumento poderoso para el cambio. Aquellos que, a pesar de las dificultades, deciden quedarse y realizar investigación en sus países, son los responsables directos del avance de la ciencia endógena. La pasión por la ciencia debe ser el hilo conductor que predomine en las decisiones de aquellos que decidan establecerse como científicos en un país de bajos ingresos. Con tenacidad, perseverancia y solidaridad, los científicos jóvenes son la esperanza para que la ciencia avance en medio de las limitaciones y contribuya con la prosperidad integral de los pueblos.

Capítulo 9

Aspectos prácticos y consejos para la experimentación

Bruno Lomonte

9.1 La experimentación como actitud

La mayor parte de la investigación moderna en las ciencias biomédicas tiene un enfoque marcadamente (aunque no exclusivamente) experimental que, al igual que el enfoque observacional o descriptivo, requiere de una adecuada formación y entrenamiento a nivel de posgrado. En la investigación centrada en el trabajo de laboratorio, la experimentación implica el aprendizaje de una serie de técnicas y destrezas para su ejecución, así como de una visión para el diseño de las pruebas que permitirán la recolección de la información necesaria para contestar la pregunta que aborda cada experimento. Esta visión debe incluir los componentes estadísticos y los controles o referentes apropiados para que los resultados tengan validez y conduzcan a inferencias sólidas. Recordando que las hipótesis científicas deben tener la característica de poder ser 'falseables' (Capítulo 4), los experimentos se diseñan para poner a prueba precisamente tal posibilidad. Se atribuye a Albert Einstein la cita: 'Ninguna cantidad de experimentación puede llevarnos a demostrar que estamos en lo correcto; un único experimento puede demostrarnos que estamos equivocados'.

La experimentación, en su sentido más amplio, es una destreza que incluye tanto aspectos teóricos como prácticos, que el investigador en formación requiere asimilar y desarrollar, de modo tal que llegue a incorporarla como un elemento natural de su visión científica y su actitud. Por otra parte, la ejecución técnica de los experimentos o la recolección de información puede realizarse adecuadamente a través de la participación de personal de apoyo, además del investigador mismo, y no debe menospreciarse. Hay que enfatizar la importancia vital que posee la ejecución de las técnicas o la recolección de datos, ya que es un requisito indispensable para que la investigación alcance los niveles de confiabilidad esperados. En este capítulo se presentan algunas reflexiones simples y consejos prácticos que pueden facilitar el aprendizaje de las destrezas experimentales en la investigación biomédica. Muchas de ellas son también aplicables a la investigación con enfoque observacional.

9.2 Si un protocolo funciona, no lo cambies; si no funciona, cámbialo

Por trivial que parezca este consejo, a menudo puede caerse en el error de invertir demasiado tiempo y esfuerzo en repetir insistentemente un experimento basado en algún protocolo o técnica que simplemente no funciona, y que necesitaría de

un cambio (que puede ir desde un aspecto menor, hasta una modificación radical del método). Igualmente, si una técnica funciona bien, debe tenerse precaución de no distraerse en la introducción de modificaciones que podrían ser innecesarias, y que podrían afectar la confiabilidad de los resultados. Normalmente, cuando una técnica o protocolo incluye alguna etapa que es muy laboriosa o tediosa, es porque hay una buena razón para ello (Fig.9.1). No se intenta decir aquí que los métodos nunca son susceptibles de mejoras, o que nunca hay que cuestionarse su diseño y detalles. El mensaje más bien invita a tener precaución a la hora de sopesar si vale la pena el esfuerzo y los riesgos de aventurarse en modificar dichos métodos. En ocasiones, el acortar caminos puede llegar a ser más bien contraproducente, como nos recuerda el refrán 'despacio, porque voy de prisa'.

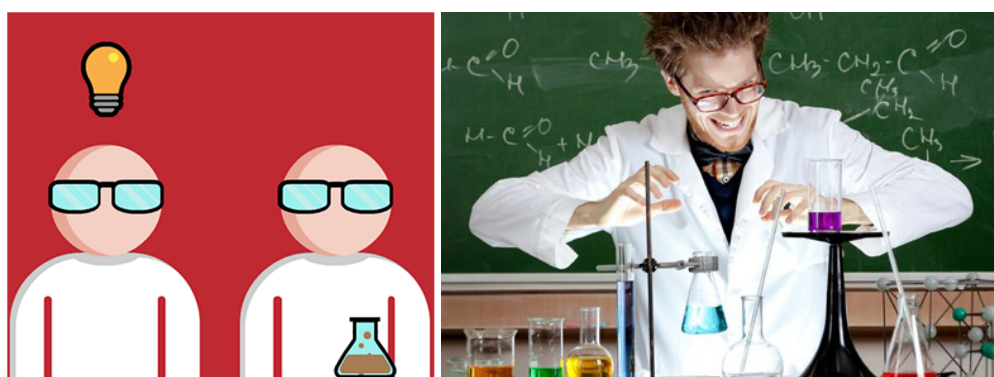


Figura 9.1: Si un protocolo funciona, no lo cambies; si no funciona, cámbialo. Cuando una técnica o protocolo incluye una etapa que es muy laboriosa o tediosa, normalmente es porque hay una buena razón para ello. Tomado de: www.piattoforte.it/blog-dautore/il-bottigliere/

9.3 Cada experimento requiere de controles o puntos de referencia adecuados

Esta es una destreza que se debe desarrollar rápidamente en la experimentación: pensar en todos los tipos de controles necesarios al diseñar un experimento. No es infrecuente que los resultados de una prueba se deban al deterioro de algún reactivo, de algún instrumento defectuoso, de algún efecto no controlado en la técnica, etc., y la única manera de asegurar nuestras conclusiones es incluir todos los posibles controles en el diseño. Los controles muchas veces son referidos como 'positivos' y 'negativos', pero más importante que el nombre que les demos, es la comprensión clara de cuáles aspectos específicos del experimento nos permiten controlar.

9.4 El diseño del experimento debe conducir a un resultado interpretable

Algunos experimentos poseen una naturaleza tal, que cualquiera que sea su resultado, va a ser interesante y útil para la pregunta planteada. Otros experimentos solamente resultan ser de interés cuando el resultado ocurre de una manera particular. Pero un experimento califica como mal diseñado si su resultado, cualquiera que sea,

quede ambiguo o no se pueda interpretar. Todo el esfuerzo que se invierta en diseñar el experimento de modo que su resultado conduzca a una interpretación inequívoca, bien vale la pena.

9.5 El orden y registro en la experimentación son esenciales

De poco o nada vale diseñar correctamente un experimento en todos sus aspectos teóricos, si no se ejecuta cuidadosamente y en forma ordenada, y no se registran sus resultados de un modo sistemático y trazable. Detalles tan simples como rotular adecuadamente las muestras, reactivos, tubos, animales, etc., pueden hacer la diferencia entre culminar exitosamente una prueba, o cometer algún error que de al traste con la misma, implicando la pérdida de valiosos recursos y tiempo. Asimismo, es fundamental mantener un sistema de anotación o registro de todos los detalles de los experimentos. Esto incluye contar con una bitácora o cuaderno de trabajo, ya sea físico o digital, en donde queden registradas, en orden cronológico, las anotaciones y los resultados pertenecientes a los experimentos de un proyecto (Fig.9.2). En algunas instituciones el uso y supervisión de tales bitácoras de investigación es obligatorio, y las mismas son consideradas propiedad de la institución. Su importancia puede ser crucial en caso de que se produzca alguna duda sobre la conducta ética de un investigador, ya que los cuadernos o bitácoras pueden ser requeridos como evidencia.

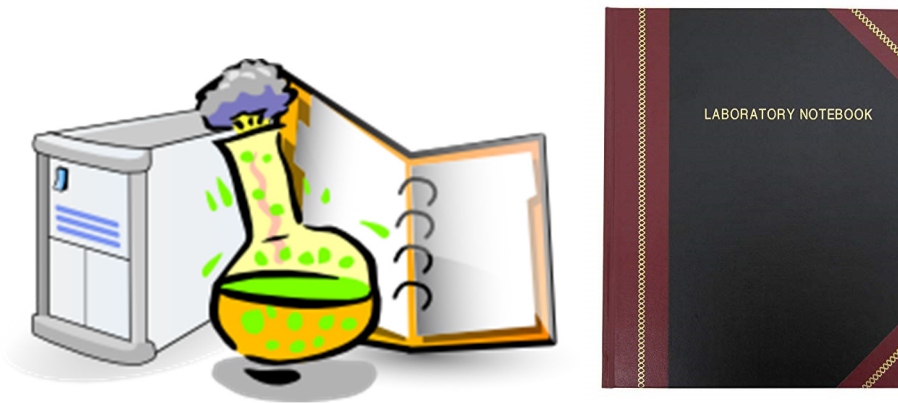


Figura 9.2: El registro de todos los datos de un experimento es esencial, así como su trazabilidad. Pueden utilizarse tanto recursos físicos como digitales (con sus correspondientes respaldos). Tomado de: University of Utah (izq.) y Catálogo de productos de Amazon.com (der.).

9.6 La objetividad durante la experimentación

En la investigación científica, solamente las evidencias y resultados cuentan para establecer conclusiones. Las opiniones y las especulaciones pueden ser interesantes, pero no representan la esencia del método científico, por lo que no pueden dar pie a conclusiones. Tanto el diseño, como la ejecución, y la lectura e interpretación de los experimentos requieren mantener una objetividad absoluta y evitar los sesgos de

cualquier naturaleza con respecto a la pregunta abordada. Es por esto que en cierto tipo de experimentos en donde la lectura de un resultado puede contener un componente subjetivo, es aconsejable utilizar sistemas 'ciegos' (en donde el investigador desconoce la identidad de los elementos que conforman el experimento).

9.7 Cómo enfrentar las dificultades experimentales

Como se mencionó arriba (sección 9.2), las técnicas o protocolos pueden dar problemas e impedir el avance de la experimentación. La solución de estos problemas debe abordarse sistemáticamente, con base en un claro conocimiento de los principios teóricos que fundamentan los métodos. Se debe analizar cuidadosamente cuáles son las posibles razones por las cuales está fallando la técnica, y priorizar sobre aquellas que parezcan ser las más probables.

9.8 La simplificación de experimentos complejos

El diseño de algunos experimentos puede volverse muy complejo, sobre todo si estos intentan abarcar muchos aspectos de una pregunta en forma simultánea. Al aumentar la complejidad y magnitud de un experimento, se corre un mayor riesgo de que surjan problemas o de que la interpretación se vuelva difícil. En tales casos, vale la pena pensar en la posibilidad de desgranar un experimento complejo en varias partes, y abordar una serie de experimentos más sencillos en forma secuencial, verificando que cada uno funcione bien, antes de realizar el siguiente (Fig.9.3).



Figura 9.3: Cuando un experimento intenta abarcar muchos aspectos de una pregunta en forma simultánea, puede volverse muy complejo y de difícil interpretación. En tal caso puede considerarse la posibilidad de descomponer el experimento en varias partes, para simplificarlo.

9.9 El aprovechamiento de la experiencia

En ocasiones, un investigador requiere aprender o implementar una técnica o método por primera vez, y por diversas razones puede cometer el error de desaprovechar las experiencias de colegas o compañeros que han logrado utilizarlas previamente en

forma exitosa (Fig.9.4). En vez de 'reinventar la rueda', es más recomendable acercarse a dichas personas, conversar y aprovechar sus experiencias previas para lograr un aprendizaje más rápido y eficiente, a menudo ahorrando los problemas por los cuales otros tuvieron que pasar en su momento. A veces las personas que nos pueden orientar están muy cerca (mismo laboratorio, mismo departamento, misma universidad), pero en otras ocasiones pueden encontrarse muy distantes (ej. otro país). Aún así, es siempre recomendable tratar de comunicarse con colegas que tengan experiencia específica en la nueva técnica que nos interesa implementar.



Figura 9.4: Puede ser un error creerse tan poderoso y capaz como para nunca necesitar de las experiencias de colegas o compañeros que ya han realizado la técnica que Ud. va a aprender por primera vez. Converse con ellos y aproveche su experiencia. Tomado de: www.fitstream.com/articles/climbing-bouldering-introduction-a148

9.10 Diseñe cada experimento como si fuera a convertirse en una figura de un manuscrito

Una manera muy eficiente de avanzar en la investigación es tener en mente cada experimento como si siempre fuera a generar un elemento publicable, por ejemplo una figura de un artículo. Ello nos hará pensar con más claridad en su diseño y sobretodo la representación final de los resultados. El procesar rápidamente los datos o resultados de una prueba para generar un gráfico o un cuadro, y determinar su significancia estadística, es mejor que acumular y guardar datos por largos períodos. A menudo, la elaboración de una figura nos permite detectar algún problema o deficiencia del experimento que amerita su repetición, y que no descubriríamos si no procesamos y organizamos los datos con celeridad.

9.11 Sea generoso cuando le pidan ayuda

Así como Ud. se beneficia de la experiencia de sus profesores, colegas y compañeros en el trabajo diario de la investigación, sea siempre lo más generoso posible cuando alguien le pida su ayuda (Fig.9.5). No dude en dedicar una parte de su tiempo para ello y compartir sus experiencias y conocimientos, en todo lo que esté a su alcance. Los beneficios de ello serán evidentes.

9.12 Es más importante ser preciso que ser prolífico... pero también ayuda ser prolífico

Es aconsejable pensar siempre en el balance entre cantidad y calidad. Un investigador puede verse inclinado a abarcar una gran cantidad de experimentos en poco tiempo, y enfocarse a generar un gran número de artículos a velocidad pasmosa, pero debe tener la precaución de considerar la calidad de su trabajo, la cual podría verse comprometida. En este sentido, puede decirse que es más importante ser preciso que ser prolífico, y dar al aspecto cualitativo del trabajo la importancia que merece. Aún así, el aprovechamiento óptimo del tiempo puede dar lugar a una producción prolífica, siempre y cuando esto no comprometa la calidad.



Figura 9.5: Ser generoso cuando le piden ayuda es una parte importante de la actitud de un investigador científico. Es la mejor manera de facilitar el avance colectivo en la búsqueda de nuevos conocimientos, por encima de los intereses individuales. Tomado de: MIT OpenCourseWare - free online learning.

9.13 Los experimentos deben estar orientados por hipótesis

Los experimentos se realizan con base en preguntas o hipótesis, con el fin de apoyarlas o rechazarlas. Incluso en ciertos análisis que tienen un marcado carácter esencialmente descriptivo, siempre existe alguna pregunta en el contexto más amplio. En otras palabras, la experimentación no es un fin en sí mismo; no se realiza de una manera aleatoria, sin un rumbo, o tal vez simplemente guiada por la disponibilidad de una técnica o un equipo. Detrás de cada experimento se requiere una hipótesis que lo oriente, ya que de otra manera estaríamos perdiendo el norte de la investigación (Fig.9.6).



Figura 9.6: Los experimentos deben estar orientados por hipótesis y preguntas concretas. Tomado de: Free art.com.

9.14 Lo que importa en ciencia no es lo que podría ocurrir, sino lo que ocurre

Durante la investigación, pueden existir suposiciones sobre los resultados probables de una prueba o ensayo. Sin embargo, dichas suposiciones no tienen validez o importancia hasta que se someten a comprobación experimental. Sin ello, las ideas se quedan en un terreno puramente especulativo.

9.15 Lea con amplitud temática: muchas de las ideas más creativas vienen de conocimientos de fuera del tema propio

Aunque el investigador se convierte paso a paso en un especialista en su tema de estudio, es también importante no restringir la lectura en forma monotemática. La experiencia muestra que leer con una cierta amplitud temática proporciona un bagaje de ideas que pueden aplicarse exitosamente al propio tema de estudio. Lo mismo puede decirse de la asistencia a seminarios, conferencias, y otras actividades académicas que amplían la temática especializada del investigador.

9.16 Sea honesto con Ud. mismo y con los demás

La honestidad en el quehacer científico es esencial, pues desviarse de ella aniquila todo el propósito que persigue la investigación. Perder la objetividad o influenciarse por sesgos, son condiciones que riñen con los principios del método científico y la experimentación. Peor aún, falsificar un experimento es una conducta completamente anti-ética que puede tener consecuencias muy graves, no solo para el investigador sino también para la sociedad (Fig.9.7).



Figura 9.7: Las conductas deshonestas en la experimentación científica pueden ser de muy diversa índole, desde la 'fabricación' de resultados o datos inexistentes, hasta su distorsión y manipulación subjetiva. Tomado de: Dolker Hunter College, hunterdolkerpsych250.wordpress.com.

Capítulo 10

Herramientas bibliométricas y sus usos en la investigación

Bruno Lomonte

10.1 Las revistas científicas: un amplio universo

Las revistas científicas constituyen el principal repositorio y medio de difusión de los conocimientos que genera la investigación, superando incluso a los libros de texto convencionales. Desde sus inicios, el investigador en formación percibe que existe un repertorio muy amplio de revistas, en diferentes campos de la ciencia, que es heterogéneo en diversos aspectos. Existen niveles disímiles de selectividad, calidad, rigurosidad, visibilidad, grado de influencia o impacto, y accesibilidad. Algunas revistas son altamente específicas de un determinado campo temático, mientras otras son más bien generalistas, dando cabida a artículos de muy diversas disciplinas de las ciencias naturales. Como se describirá más adelante, algunas revistas se financian a través de sistemas de suscripción, por lo que son de acceso restringido, mientras otras se financian mediante el aporte monetario de los autores, lo cual les permite brindar un acceso 'abierto' o irrestricto a sus contenidos.

Desde la creación de las primeras revistas científicas en el siglo XVII ([Capítulo 2](#)), su número fue creciendo notoriamente en todo el mundo, hasta llegar a las considerables cifras de la época actual. Este aspecto ha sido - y continúa siendo - un proceso dinámico: algunas revistas nacen y otras mueren; algunas han perdurado por centenares de años, mientras otras han tenido existencias muy efímeras.

10.2 Orígenes de la Bibliometría

Dada la vasta heterogeneidad y alto número de las publicaciones periódicas en ciencias, durante la segunda mitad del siglo XX, los estudiosos del fenómeno científico y de las ciencias de la información se preguntaron si sería posible hallar formas de aproximarse a la medición del grado de influencia, visibilidad, e impacto de las publicaciones. En otras palabras, si sería posible encontrar fórmulas para estimar la calidad y el prestigio general de las distintas revistas o de sus contenidos específicos. Tales preguntas originaron una serie de estudios que dieron origen a la disciplina conocida como 'Bibliometría'. Este término fue acuñado por el inglés Alan Pritchard en 1969 ([Fig.10.1](#)) y definido como 'la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos a

libros, artículos, y otros medios de comunicación' (Pritchard, 1969). Un término relacionado que surgió poco después es 'Cienciometría', la especialización de la bibliometría aplicada a la ciencia, tecnología e innovación. En conjunto, estas disciplinas desarrollan y aplican análisis métricos y estadísticos a la documentación científica, lo cual ha permitido conocer una serie de aspectos interesantes sobre el trabajo de investigación y la generación de conocimientos.



Figura 10.1: Samuel Bradford (izquierda), matemático y bibliotecario inglés, fue pionero en el análisis de la distribución de frecuencias de citación de artículos en las revistas (1934), que pasó a ser conocida como 'ley de la dispersión de la literatura científica' o 'ley de Bradford'. Alan Pritchard (derecha), un bibliotecario de Inglaterra, acuñó el término 'Bibliometría' en una publicación realizada en el *Journal of Documentation*, en 1969. Imágenes: HLWIKI Canadá.

Desde la década de 1930, ya se venían realizando estudios estadísticos sobre las características de la información científica publicada en revistas. Samuel Bradford (Fig.10.1) analizó en 1934 el comportamiento de las referencias citadas en los artículos científicos de un importante número de revistas, encontrando que un núcleo relativamente pequeño de estas abarcaba una proporción considerable del total de las citaciones (Fig.10.2). Sus estudios permitieron describir al numeroso conjunto de las revistas como una serie de esferas concéntricas cuyo núcleo central representaría aquellas con mayor influencia en el intercambio y difusión de conocimientos (y viceversa, con menor influencia al alejarse hacia esferas de la periferia). El principio demostrado en dichos estudios pasó a ser conocido como la 'ley de la dispersión de la literatura científica' o 'ley de Bradford', y se convirtió en un concepto central para la creación de las primeras bases de datos internacionales sobre literatura científica.

En los EUA, el químico, bibliotecólogo, e informático Eugene Garfield (Fig.10.3) se convirtió en un pionero de la bibliometría, creando en 1960 la empresa *Institute for Scientific Information* (ISI), en Filadelfia. El ISI comenzó a registrar y sistematizar toda la información publicada por un importante número de revistas, seleccionadas principalmente bajo el criterio de análisis de citaciones. Abarcar la literatura en una forma absolutamente comprensiva era no solo logísticamente impráctico, sino

económicamente inviable, y los conceptos desarrollados por Bradford justificaban que se desarrollara una estrategia selectiva.

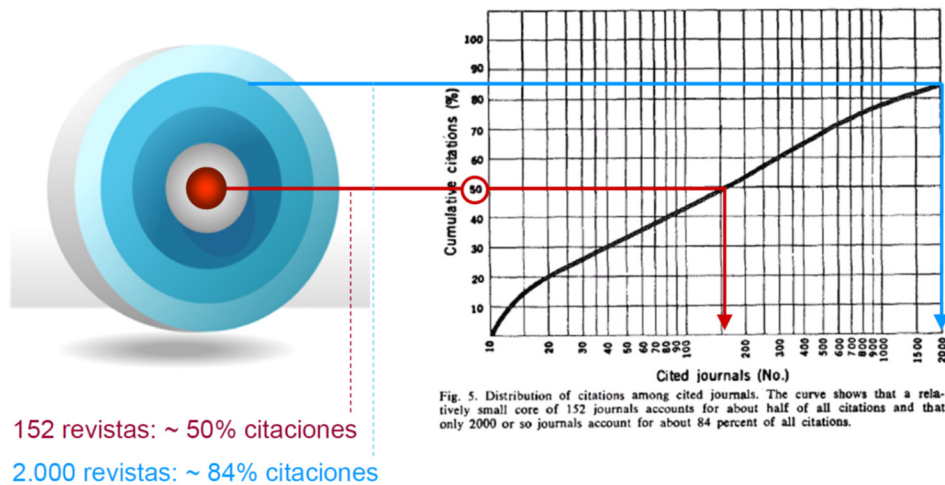


Figura 10.2: Los estudios pioneros de Bradford sobre el comportamiento de las referencias citadas en artículos científicos mostraron que un núcleo relativamente reducido de revistas acaparaba un alto porcentaje de la distribución de citas. En este ejemplo, 152 revistas abarcaron el 50% de todas las citas contadas en el estudio. Aumentando el número de revistas a una esfera más amplia ($n=2000$), se cubría el 84% de las citas.



Figura 10.3: Eugene Garfield, fundador del *Institute for Scientific Information* en los EUA, marcó hitos en la historia de la bibliometría, recopilando y sistematizando información para ofrecer productos tales como *Current Contents*[™], *Science Citation Index*[™], *Journal Citation Reports*[™], y proponiendo un indicador del grado de influencia de revistas conocido como '*Impact Factor*'. A partir de los años 1960, el ISI prácticamente marcó los límites de la 'corriente central' de la ciencia (*mainstream science*) a nivel global. Tomado de: www.pinterest.ca/pin/445363850619996765/

Los productos ofrecidos por el ISI tuvieron rápidamente una gran aceptación internacional en bibliotecas, universidades, instituciones científicas públicas y privadas, y agencias de apoyo a la investigación científica. Entre dichos productos se encontraba el *Current Contents*, una herramienta originalmente disponible en forma impresa, que

permitía detectar las publicaciones recientes utilizando palabras clave, así como contactar a los autores mediante sus direcciones postales para solicitar una copia de su publicación. La sistematización de la información y el desarrollo de los análisis de citación permitieron al ISI generar el *Science Citation Index*[™] y el *Journal Citation Reports*[™], los cuales transformaron radicalmente el mundo de las publicaciones periódicas: las revistas comenzaron a ser clasificadas en una especie de *ranking* de prestigio basado en la frecuencia de sus citaciones, al surgir el concepto del *Impact Factor* o índice de impacto.



Figura 10.4: La digitalización de los datos recopilados en la versión impresa del *Current Contents*[™], inicialmente en formato de discos suaves de 5 1/4", luego en diskettes de 3,5" y en discos compactos (CD), marcó una revolución en el manejo de la literatura científica mundial. El surgimiento de la *Internet*, y con ella, la migración a la plataforma comercial *Web of Science*[™], volvió obsoletos los anteriores formatos.

El índice o factor de impacto (IF) es un indicador que intenta estimar el grado de influencia de una revista, y es calculado anualmente en el *Journal Citation Reports*². Se obtiene dividiendo el número de citaciones que obtienen sus artículos en un período de dos años siguientes a su publicación, entre el número de artículos de dicha revista en ese lapso. Esto significa que el IF es un valor promedio para los contenidos de la revista, y por tanto va a ser afectado por las distintas cifras de citación de cada artículo individual (algunos pueden ser altamente citados, elevando el promedio, y viceversa). Este indicador debe utilizarse de forma apropiada, conociendo su significado y sus limitaciones.

10.3 Limitaciones del índice o factor de impacto (IF)

Por la naturaleza de su fórmula, el IF no debe ser utilizado para hacer comparaciones entre áreas temáticas distintas, ya que estas pueden tener diferencias

² El *Journal Citation Reports* fue desarrollado por ISI, empresa que luego fue adquirida por la corporación Thomson-Reuters, y posteriormente por Clarivate Analytics, su propietaria al momento de escribir este resumen.

notables de magnitud en cuanto al número de investigadores, número de revistas, y otras, que inciden sobre las cifras de citación absolutas. Por ejemplo, las revistas que corresponden a áreas de investigación muy grandes, como las disciplinas médicas, tienden a tener valores de IF considerablemente más altos que las revistas de áreas más pequeñas, tales como las matemáticas. Por tal razón, se ha propuesto relativizar el IF según el campo de estudio, y comparar los *rankings* de IF solamente dentro de un mismo campo temático.

Como lo señaló Bruce Alberts en una nota editorial de la revista *Science* (Alberts, 2013), el uso inadecuado del IF puede llevar a importantes distorsiones. Una declaración suscrita por más de 75 organizaciones científicas y 150 renombrados investigadores (DORA: *San Francisco Declaration of Research Assessment*) clamó por detener el uso del IF para juzgar el trabajo individual de un investigador. En las palabras de Alberts, 'El IF nunca fue diseñado para evaluar a un científico, sino solamente como una aproximación a la calidad de una revista'. Como se discutirá más adelante, existen algunos indicadores que permiten aproximarse de mejor manera a la evaluación del impacto de una publicación particular, o de la producción individual de un investigador. Sin embargo, al igual que todo indicador, estos no están exentos de limitaciones, así como de distorsiones relacionadas con su uso y abuso.

10.4 Cifras de citación

El simple recuento o enumeración de las veces que un artículo es citado por otros representa la principal base que se ha utilizado para aproximarse a su impacto o influencia, y es un eje central de la bibliometría. Sin embargo, a pesar de su utilidad, las cifras de citación también han introducido problemas importantes en el mundo de la publicación científica.

La premisa que fundamenta el uso de las cifras de citación es que mientras más veces es referenciado un artículo, mayor es su probabilidad de haber incidido en su campo de estudio, y viceversa. En términos generales, esto es cierto, pero no se puede asumir absolutamente siempre, ya que una distorsión puede ocurrir cuando un artículo es referenciado debido a una crítica, un fallo o un error de interpretación, u otros motivos que no implican el haber influenciado positivamente el conocimiento en su campo. Afortunadamente, las situaciones de esta naturaleza son mucho menos frecuentes, por lo que no invalidan el fundamento general de la utilidad de las cifras de citación. Un problema más común que se ha derivado del uso de este indicador es la auto-citación, tanto a nivel de los propios investigadores, como a nivel de las revistas. Se han conocido casos en los cuales algunas revistas (por lo general revistas emergentes) han ejercido presión sobre los autores para inducirlos a citar artículos que incrementen el propio IF de la revista. En cuanto al problema de la auto-citación a nivel de autores, los sistemas informáticos permiten diferenciar el recuento de las citaciones 'externas',

descontando las auto-citaciones. Sin embargo, esta situación también puede conllevar algunos inconvenientes, dado que las auto-citaciones también pueden ser perfectamente válidas y pertinentes, es decir, no necesariamente forzadas con el afán de inflar las cifras de citación. Algunos de los indicadores que se utilizan para estimar la influencia de los artículos con base en sus citaciones, por ejemplo, el 'índice-h' (ver adelante), se pueden calcular tanto en forma global, como excluyendo las auto-citaciones.

Otro aspecto interesante de las cifras de citación es que son influenciadas por el tipo de publicación. Los trabajos que describen nuevos métodos tienden a atraer numerosas citaciones y pueden llegar a convertirse en verdaderos clásicos (el concepto de '*Citation Classics*' fue introducido por Garfield en el ISI para describir aquellos artículos que sobrepasaban un número dado de citaciones; un conocido ejemplo es la referencia de Laemmli (1970) que describe la técnica de SDS-PAGE). Igualmente, es sabido que los artículos de revisión también tienden a generar mayores cifras de citación que los artículos experimentales. En alguna medida, esto ha provocado que algunas revistas emergentes, aún no sólidamente posicionadas en los escalafones del IF, fomenten las invitaciones a contribuir con artículos de revisión.

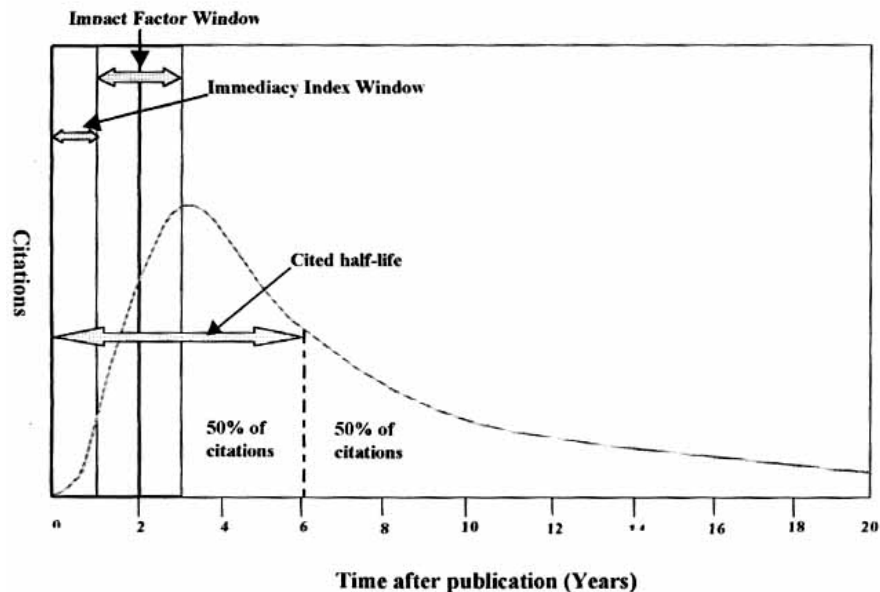


Figura 10.5: La ventana con la cual se calcula el índice de impacto (IF) de una revista abarca las citaciones de los 2 años posteriores. El índice de inmediatez mide las citaciones de un artículo individual que se generan durante el primer año. La vida media de citación es el tiempo en el cual se alcanza el 50% de las citaciones totales de un artículo. Tomado de: *Journal Citation Reports*, Clarivate Analytics.

Además del simple recuento de citaciones en un momento dado, es interesante anotar la posibilidad de estudiar su comportamiento temporal. Un indicador que se ha

propuesto en este sentido es la 'vida media de citación', la cual representa el momento que divide el 50% de las citaciones totales de un artículo en el tiempo (Fig.10.5).

10.5 El índice de Hirsch o índice- h y las métricas de autor

Como se explicó arriba, el indicador IF se desarrolló para estimar el impacto o influencia de las distintas revistas, y no para evaluar el desempeño de un investigador, o la importancia de un artículo dado. Es claro que una publicación puede estar ubicada en una revista de alto IF sin que ello implique que el artículo particular sea ampliamente citado e influyente. A la inversa, un artículo puede haber sido publicado en una revista con un IF muy modesto y, sin embargo, ser un artículo de gran influencia en su campo, reflejada en un número importante de citaciones. En la evaluación de la trayectoria científica de un investigador, se recurre comúnmente a las métricas de citación de sus propios artículos, independientemente de la revista en la cual se encuentran publicados.

Un indicador ideado por George Hirsch, físico de la Universidad de California en San Diego, EUA, se popularizó con el nombre de h -index (índice- h). Este indicador combina el número de artículos publicados por un investigador con las métricas de citación de estos. En la distribución de citaciones de todos los artículos de un determinado autor, el índice- h se define como el número de artículos que poseen al menos ' h ' citaciones. Por ejemplo, un índice- h de 20 significa que el autor tiene al menos 20 artículos que han sido citados al menos 20 veces (Fig.10.6). Aunque es un indicador hasta cierto punto informativo, adolece de ser afectado por varios factores, entre ellos los años que lleva un investigador en su labor, y cuando se aplica en los inicios de una carrera científica es considerado un indicador débil, poco revelador.

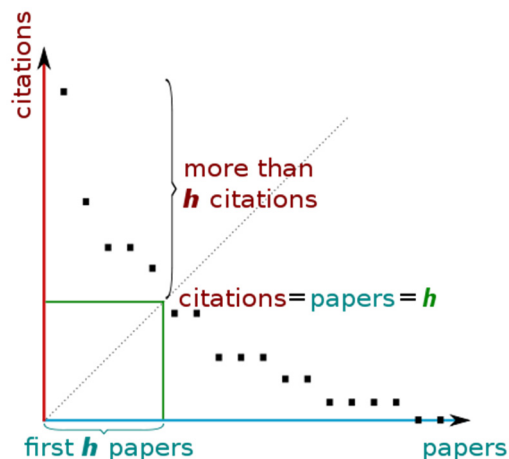


Figura 10.6: El índice- h de un autor (u otros tipos de sujetos de estudio) se define como el número h de artículos que han sido citados en otros artículos al menos h veces. Tomado de: Wikipedia.

10.6 Algunos usos de las herramientas bibliométricas

Como se pudo prever desde los orígenes de la Bibliometría/Cienciometría, la disponibilidad de información cuantitativa sobre las publicaciones posibilita conocer y estudiar una serie de aspectos relevantes en torno a la actividad científica. El sujeto de estudio puede abarcar desde un artículo, un individuo, un grupo de trabajo, un departamento de una institución, una institución completa, una nación, una región geográfica, o el globo. Las herramientas bibliométricas pueden aplicarse al estudio de una amplia variedad de temas relacionados con las ciencias (Fig.10.7). Podemos mencionar como ejemplos: **(a)** diagnósticos sobre el estado de la investigación; **(b)** el seguimiento temporal de procesos de desarrollo; **(c)** la evaluación del impacto de programas de apoyo a la investigación; **(d)** la identificación de fortalezas y debilidades temáticas; **(e)** la orientación de políticas de asignación de recursos para las ciencias; **(f)** la evaluación de programas de formación universitaria en posgrados. La gran versatilidad de la información que se puede derivar de estos análisis es una de las razones centrales para el éxito global que han tenido los productos que ofrecen las distintas empresas en este campo.



Figura 10.7: Las herramientas bibliométricas permiten abordar una gran variedad de preguntas en torno a la actividad de investigación científica, que pueden ser aplicadas a toda una gama de sujetos de estudio: desde un artículo, un individuo, un grupo de trabajo, un departamento de una institución, una institución completa, una nación, una región geográfica, o el globo.

A pesar de la utilidad de la información que proveen las herramientas bibliométricas, siempre hay que considerar sus limitaciones, su contexto, sus sesgos, y otros aspectos que los números no pueden comunicar por sí solos. Las palabras de Albert Einstein resumen claramente la anterior anotación: 'no todo lo que puede ser contado cuenta, y no todo lo que cuenta puede ser contado'. Sin embargo, caer en el otro extremo, e ignorar la relevancia actual de los indicadores bibliométricos en la actividad científica, parece no ser la mejor decisión.

10.7 Información científica a nivel global: la 'corriente central' de las ciencias vs. la 'literatura gris'

El intercambio de información científica a nivel global transcurre a través de megabases de datos que abarcan y recopilan las publicaciones científicas de un número grande, aunque limitado, de revistas especializadas (Fig.10.8). La selección original de revistas del ISI para la construcción de su base de datos, y su expansión gradual (continuada por las corporaciones Thomson-Reuters, y después Clarivate Analytics; ver nota al pie en la sección 10.3) tuvo una enorme influencia en la delimitación de la 'corriente central' de intercambio de información, o '*mainstream science*'. Para el año 2000, la base de datos iniciada por el ISI cubría unas 6.000 revistas, y continuaba creciendo. Luego de ser por muchos años la única proveedora de información masiva y sistematizada sobre publicaciones en ciencias, más recientemente otras empresas han surgido en este campo de la información y métricas de la ciencia; por ejemplo Scopus™ (perteneciente al gigante editorial Elsevier).



Figura 10.8: La exclusión de la 'corriente central' de intercambio de información científica ('*mainstream science*'), delimitada por las grandes bases de datos, ocasiona un problema de invisibilización. Las revistas, y por ende los artículos que no alcanzan a ser incluidos en dichas bases de datos, resultan marginados o ignorados.

El desarrollo y consolidación de las eficientes megabases de datos utilizadas por los investigadores de todo el mundo para la búsqueda e intercambio de información trajo como consecuencia un importante efecto sobre la visibilidad de la producción científica: aquellas revistas (y artículos) que se encuentran incluidas dentro de la corriente central serán visibles, mientras aquellas que están excluidas sufrirán los problemas de la invisibilización - la denominada 'literatura gris' (Fig.10.9).

El problema de la invisibilización es especialmente relevante para los países que, como Costa Rica, poseen un bajo desarrollo científico, en donde generalmente ocurre una proliferación de revistas locales, a menudo inestables, que no alcanzan los requisitos para ser incluidas en las bases de datos internacionales en ciencias, a saber ³: **(a)**

³ Criterios solicitados por *Web of Science/Science Citation Index™* para la inclusión en sus bases de datos.

puntualidad y periodicidad; **(b)** adhesión a convenciones editoriales internacionales; **(c)** aplicación de procesos de evaluación externa por expertos; **(d)** utilización del idioma inglés; **(e)** representatividad geográfica con diversidad internacional; **(f)** cifras de citación. Para enfrentar esta situación, algunos países han adoptado políticas de contracción del apoyo a revistas locales, sumando esto al otorgamiento de incentivos para la publicación en revistas indexadas en bases de datos de corriente central. Es importante anotar que entre las decenas de revistas científicas que se publican en Costa Rica, la única que se encuentra incluida en dicha indexación es la Revista de Biología Tropical (con un IF cercano a 0,50), fundada en 1953 y administrada por la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica.

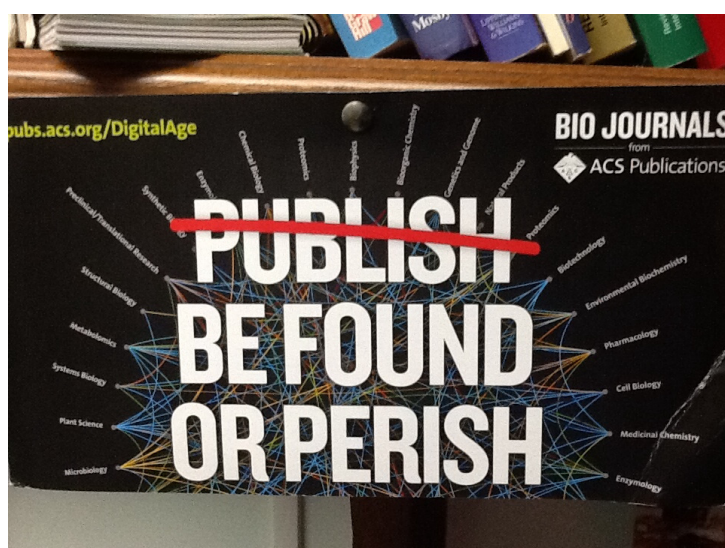


Figura 10.9: El problema de la invisibilización de las publicaciones científicas en revistas que no alcanzan la indexación en las principales bases de datos internacionales se ejemplifica con la propaganda mostrada en esta imagen, de la *American Chemical Society* (ACS). Esta modificación de la frase "publica o perece" (ver Fig.6.1) enfatiza que no solo es necesario publicar, sino que es fundamental hacerlo en medios que sean visibles.

10.8 El movimiento de acceso abierto (open access) en la publicación científica

Tradicionalmente, la amplia mayoría de revistas científicas se han financiado a través de sistemas basados en suscripción, condicionando el acceso a sus contenidos a dicho pago, ya sea a nivel personal o institucional. Los costos de suscripción de muchas de las principales revistas internacionales no son triviales, representando una erogación significativa para las bibliotecas institucionales (ej. en las universidades). Del mismo modo, estas revistas venden el acceso electrónico a cada artículo individual a través de un pago considerable, alrededor de US\$ 20-30. En este modelo de 'acceso restringido',

los autores de un artículo no necesitan realizar ningún pago para publicar, pero una vez aceptado su artículo, se les exige transferir los derechos de autor (*copyright*) a la empresa editorial dueña de la revista. Este sistema, cuyos orígenes son muy anteriores a la existencia de la *Internet*, comenzó a ser fuertemente cuestionado durante la década de 1990 por distintos sectores científicos y políticos. El argumento central en contra del modelo de acceso restringido se ha fundamentado en que el conocimiento, que en buena medida es generado gracias a fondos públicos, debe ser un patrimonio de todos. Los investigadores de países de bajos ingresos, como es nuestro caso, sufrimos de forma palpable los efectos de la restricción en el acceso a las publicaciones científicas. Para contrarrestar las consecuencias de este sistema, en el contexto de una época de fuerte expansión de la comunicación digital, nació el movimiento del 'acceso abierto' (*open access*, OA).



Figura 10.10: Caricatura difundida por PLoS (*Public Library of Sciences*) durante las campañas para la promoción del modelo de acceso abierto (*open access*; OA) de publicación en revistas científicas.

Debido a que la producción y administración de las revistas científicas tiene costos considerables, el movimiento OA propuso un modelo en el cual dichos costos operativos fueran cubiertos a través del pago de una tarifa fija por parte de los autores, de modo tal que las revistas no tendrían la necesidad de cobrar suscripciones, sino que todos sus contenidos estarían completamente accesibles a través de *Internet*. Este modelo recibió el apoyo político de importantes sectores de las ciencias, incluyendo campañas con la participación de galardonados Nobel, y gradualmente, el con dictado de políticas institucionales o nacionales para fomentar el modelo OA. Para el año 1993,

nacían las primeras revistas enteramente basadas en este modelo, entre las cuales destaca el papel protagónico de PLoS (*Public Library of Sciences*), organización que lanza con gran éxito varias revistas en distintas especialidades de las ciencias. Para el año 2003, se crea un catálogo de revistas enteramente basadas en el modelo de OA (DOAJ; *Directory of Open Access Journals*) el cual crece con la adopción de políticas institucionales como la de los Institutos Nacionales de Salud de EUA (NIH: *National Institutes of Health*) que obligan a que las investigaciones patrocinadas con sus fondos deban quedar libremente accesibles según el modelo OA. Algunos países incluso han implementado políticas nacionales en este aspecto, para las investigaciones que se realizan con el patrocinio de fondos públicos. Para el año 2011, se alcanzó un ‘punto de equilibrio’ entre el modelo convencional y el modelo OA, que llegó a abarcar alrededor del 50% de la literatura global. Por su parte, las mayores editoriales científicas respondieron a este cambio implementando un sistema mixto, el cual mantiene el sistema tradicional basado en suscripción/acceso restringido (si los autores prefieren no pagar una tarifa por publicar), pero a la vez ofreciendo una modalidad de cobro, si los autores prefieren que sus artículos queden con acceso abierto.

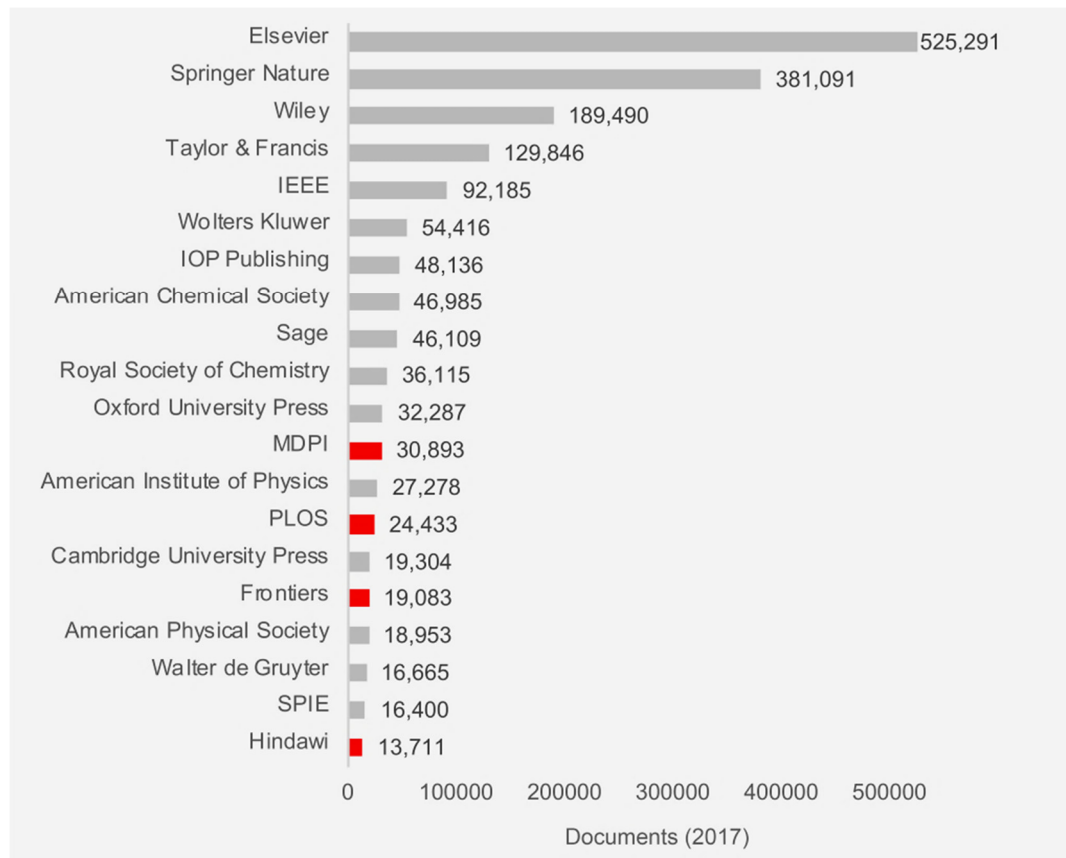


Figura 10.11: Volumen de artículos publicados por las 20 mayores editoriales en revistas en el año 2017. Se indican con rojo las que son exclusivamente de acceso abierto (OA).

El espíritu que fundamenta el modelo de OA es loable y además ha demostrado tener un efecto importante sobre la visibilización de la información, cuando se analizan las métricas de citación. Sin embargo, dicho modelo tiene algunas implicaciones que también vale la pena conocer y comentar. En primer lugar, las tarifas que se cobran a los autores (o a sus correspondientes instituciones) no son triviales, usualmente cercanas a los US\$ 1.500-3.000 por artículo. ¿Quién establece estas tarifas y sobre qué bases? La información no es fácilmente obtenible. En los países menos favorecidos económicamente, en donde los fondos para la investigación científica son modestos, estas cifras pueden convertirse en una carga económica importante. Las instituciones que patrocinan la investigación no siempre disponen de la posibilidad financiera de apoyar en forma irrestricta la cobertura de este rubro para el total de las publicaciones que se generan, lo que a su vez puede generar una situación de desigualdad entre distintos autores o distintos proyectos científicos. Haciendo un simple ejercicio hipotético con base en la producción anual de publicaciones de Costa Rica (Capítulo 3), proyectándola a unos 1000 artículos con un costo promedio de \$1.500, podría llegarse a un gasto de al menos \$ 1.500.000 por año en el pago de tarifas de publicación. Habría que analizar cuidadosamente si un fondo de tal magnitud podría tener un mejor uso al invertirse en insumos para proyectos de investigación. Por otra parte, podría argumentarse que se gastan cifras muy altas al pagar las suscripciones a revistas, y que esos fondos podrían más bien ser utilizados para cubrir los costos de publicación en el modelo de OA. Sin embargo, parecería todavía muy difícil prescindir completamente del acceso a importantes revistas ‘de suscripción’, lo cual plantearía un dilema en cuanto a la decisión sobre el destino de los escasos recursos disponibles.

Un segundo problema que ha originado el modelo de OA es el surgimiento de una miríada de revistas de cuestionable reputación, que son atraídas únicamente por el interés en el cobro de una tarifa a los autores, sin que los aspectos de rigurosidad científica y evaluación por pares expertos se cumplan. Estas revistas han sido denominadas como “revistas depredadoras” (*predatory journals*), y poseen algunas características (Fig.10.12) que generalmente permiten identificarlas: **(a)** envían invitaciones en forma masiva a través de correos electrónicos, instando a los investigadores a publicar; para esto, comúnmente utilizan sistemas automatizados donde frecuentemente los autores son invitados a contribuir en campos completamente alejados de su especialidad; **(b)** son revistas básicamente desconocidas, con sitios *web* carentes de información clara sobre sus editores (afiliaciones y atestados académicos), así como de su cuerpo editorial; a menudo se nota en su correspondencia que los mensajes ni siquiera son suscritos por el nombre de algún editor académico; **(c)** frecuentemente incluyen en sus invitaciones el ofrecimiento para integrarse a su cuerpo editorial, incluso en campos que no son de la especialidad del receptor; **(d)** las invitaciones a menudo enfatizan en la rapidez de los tiempos de aceptación de los manuscritos y transmiten una sensación de gran facilidad para su aceptación; se

describen en ocasiones plazos que son realmente risorios en comparación con los tiempos normalmente requeridos para la evaluación rigurosa de un manuscrito; **(e)** por último, siendo la característica más útil para identificarlas, son revistas que no tienen ninguna indexación en las bases de datos más importantes a nivel internacional, por razones obvias.

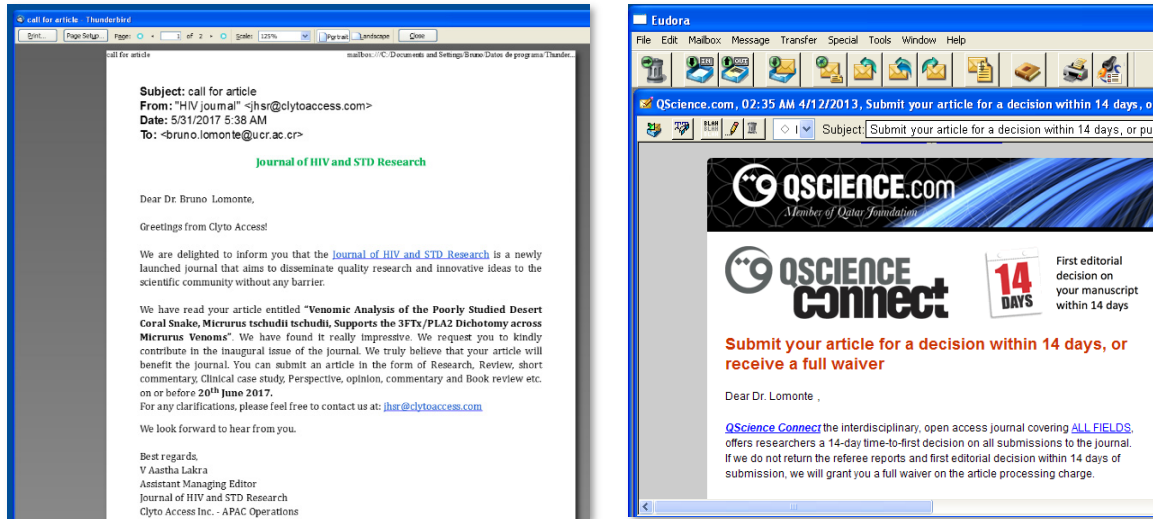


Figura 10.12: Algunas características de las revistas 'depredadoras'. Izquierda: un ejemplo de los correos masivos que invitan a publicar en temas que no tienen absolutamente relación con el campo del autor: la revista *HIV Journal* está invitando sobre la base de haber publicado un estudio... ¡sobre venenos de serpiente! Derecha: un ejemplo de invitaciones que enfatizan el rápido plazo para las decisiones editoriales, con el ofrecimiento de no cobrar en caso de que el plazo no se cumpliera.

Un estudio revelador sobre el desastre ético que han introducido en las ciencias las revistas depredadoras, fue publicado por Bohannon (2013). Este investigador preparó un manuscrito intencionalmente cargado de deficiencias muy evidentes en cuanto a diseño, experimentación y sesgos de interpretación de una investigación ficticia, y lo envió a 304 revistas de OA: a pesar de sus evidentes defectos, más de la mitad de estas... ¡aceptaron el manuscrito! Esto deja en clara evidencia los propósitos verdaderos que persigue el negocio de las revistas depredadoras que han plagado el movimiento OA.

En adición al problema de las revistas depredadoras, que han florecido como consecuencia de la creación del sistema 'autores pagan' en el modelo OA, existe también otra reserva entre los investigadores en el sentido de que aún en revistas tradicionales formales, debidamente indexadas en bases de datos y con una amplia trayectoria de prestigio, pueda estarse presentando un conflicto de intereses cuando se acepta un manuscrito para publicación y ello implique un pago para cubrir el OA.

Interesantemente, algunas de las empresas editoriales consolidadas han iniciado la creación de revistas 'hermanas' (*sister journals*) de revistas muy conocidas, pero que operan bajo el modelo de OA. En la experiencia del autor, en ocasiones se ha visto que un editor devuelve un manuscrito enviado para la consideración de la revista que coordina, indicando que no es apto, pero a la vez recomendando que el manuscrito sea redirigido a su *sister journal* en OA. Si se analiza con cuidado, dentro del modelo de OA la aceptación final de un manuscrito conlleva un pago a la revista, y ello tiene el potencial para introducir sesgos y por ende calificar como un conflicto de intereses.

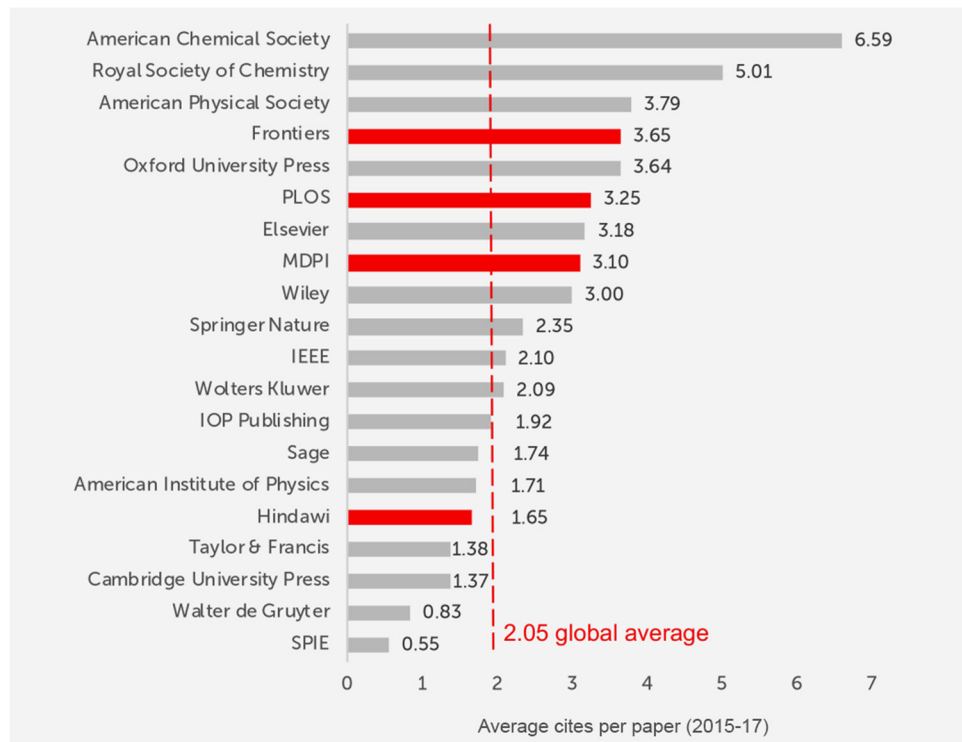


Figura 10.13: Número promedio de citaciones por artículo para los artículos publicados en 2015-2017 por las 20 mayores editoriales. En rojo se indican aquellas que son exclusivamente de acceso abierto (OA). Fuente: SCImago, 2018.

10.9 ¿Existen alternativas a los dos modelos de publicación descritos?

Como se discutió arriba, el modelo de suscripción y acceso restringido posee importantes inconvenientes, por cuanto los costos de suscripción son cada vez más onerosos y las tarifas de acceso a artículos individuales son prácticamente prohibitivas. Por otro lado, el modelo de OA ofrece total libertad de acceso, pero carga los costos a los propios autores, generando de tal modo otros problemas, directos e indirectos, que se vuelven más marcados en los países con escaso financiamiento a la investigación científica y tecnológica. Entre las posibles soluciones, se ha propuesto la utilización de

revistas locales financiadas por instituciones públicas (ej. las propias revistas de la UCR) como un medio de difusión que garantice el acceso abierto pero sin cargar ningún costo a los autores, a diferencia de los sistemas de OA en las editoriales internacionales. En la opinión del autor, esta solución sería inadecuada bajo todo punto de vista, dado que es claro que los medios locales no alcanzarían la difusión que se logra en la corriente central de las ciencias, y relegarían la información a quedarse estancada en la 'literatura gris'.

Una posible salida, a modo de opinión personal sobre este tema, es el aprovechamiento de los recientes sistemas de repositorios institucionales y de redes interactivas especializadas en las ciencias. Esta alternativa propone que se publique los artículos en revistas de suscripción/acceso restringido, que no implican ningún costo a los autores, pero cuyos contenidos son capturados en las bases de datos de corriente central. Entonces, si bien es cierto los autores transfieren los derechos de autor a las editoriales, retienen la potestad de colocar enlaces en repositorios institucionales y en redes especializadas, mediante los cuales las personas interesadas en acceder los artículos tienen la posibilidad de solicitarlos en forma privada, exclusivamente para fines académicos, sin infringir los derechos de las revistas. En otras palabras, en este modelo los autores se encuentran inhibidos de colocar sus publicaciones libremente en la *web*, pero tienen el derecho de crear enlaces para que les sean solicitados sus artículos. Por ejemplo, la UCR ha creado en años recientes su repositorio institucional de publicaciones, llamado '*Kérwá*' (<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/>), en donde es posible depositar toda la producción académica de modo que no esté expuesta en forma abierta (a menos de que sean artículos con privilegio de OA), pero bajo un sistema donde el enlace envía automáticamente un mensaje al autor cuando alguna persona solicita el artículo. Una opción aún más eficiente que *Kérwá* para fines de difusión es representada por la red '*ResearchGate*' (www.researchgate.net/), la cual captura eficientemente metadatos parciales de todas las publicaciones que alcanzan las grandes bases de datos en temas biomédicos, entre otros, tales como *PubMed* (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/). En esta red, de inscripción gratuita, los participantes pueden recibir alertas periódicas sobre los documentos que se publican en el campo de su interés, los cuales cuentan con enlaces para solicitar los artículos sin infringir los derechos de autor: si el artículo fue publicado en la modalidad OA, se descarga directamente del enlace; y si el artículo pertenece a una revista de suscripción, el autor recibe un mensaje donde se le solicita y puede optar por enviarlo en forma privada al solicitante. De este modo es posible compensar, en parte, las disyuntivas del acceso restringido en las revistas de suscripción, y a la vez, evitar los altos costos que implica publicar en la modalidad de OA.

10.10 La era de las 'métricas' en las publicaciones

Con el creciente desarrollo informático, la era digital actual ha facilitado y reforzado las facilidades para registrar todo tipo de eventos relacionados con el manejo,

distribución y uso de la información científica publicada. Es así que muchas de las revistas más influyentes en las ciencias exponen en sus sitios *web* información detallada sobre cada artículo publicado (*article-level metrics*), tal como: número de visualizaciones únicas (es decir, de direcciones IP diferentes), número de lecturas, número de descargas de artículo completo, ubicación geográfica de la proveniencia de los accesos, análisis temporal de las cifras de acceso, número de citas registradas y su evolución temporal, etc. Todas estas 'métricas' poseen valor para el análisis global del comportamiento de la información que se publica en la corriente central de las ciencias, lo cual ha sido - en esencia - el tema que abarca la disciplina que llamamos Bibliometría.

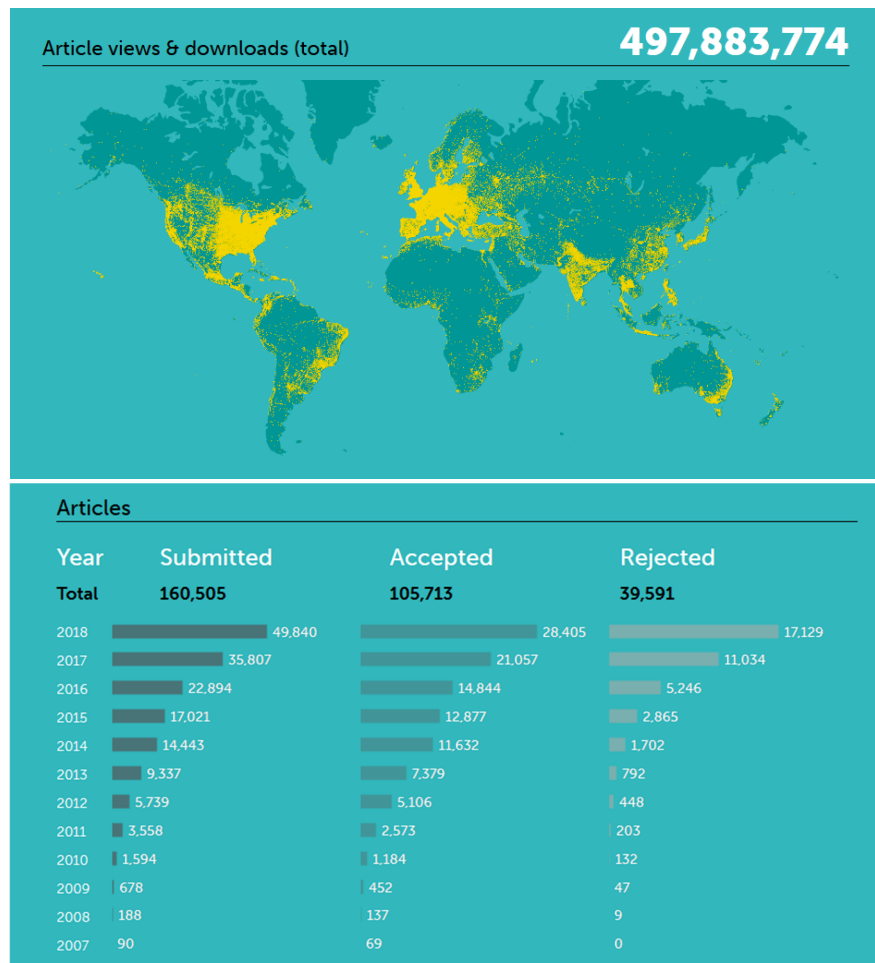


Figura 10.14: Frontiers, una editorial creada en el año 2007 bajo la modalidad de acceso abierto (OA) indica en este mapa (arriba) el origen geográfico desde donde se han visualizado y descargado mayormente los artículos publicados en sus revistas. En la parte inferior se indican las cifras de aceptación o rechazo de manuscritos para cada año. Fuente: Frontiers Report (2018).

Capítulo 11

La relación tutor-estudiante en la dirección de tesis de posgrado

Cecilia Díaz Oreiro

11.1. Introducción

La primera pregunta que surge cuando hablamos de la formación de estudiantes de posgrado es: ¿qué significa transformarse en un investigador o una investigadora? Una posible respuesta sería: significa adentrarse en la cultura de la investigación y el estado del arte del objeto de estudio, asumiendo toda esa herencia científica, repensándola, revalorándola y haciéndola propia y volverse un productor de conocimiento nuevo dentro de una comunidad académica reconocida.

La anterior definición nos da mucho que pensar, porque asume que hacer ciencia o, en otras palabras, ser un investigador, implica estudiar y conocer lo que se ha hecho anteriormente sobre el tema que nos interesa. No se puede empezar a investigar de la nada, ni tiene sentido 'redescubrir el agua tibia'. Sin embargo, sabiendo lo que se ha hecho previamente, muchas veces se pueden abordar las mismas preguntas, pero de una manera diferente, porque como propone la anterior definición, el acervo científico debe ser internalizado y procesado para así poder generar conocimiento nuevo, pues cada cerebro es un mundo y puede resolver los enigmas de la ciencia en forma diferente.

El otro gran factor que aborda la definición planteada (discutido también en otros capítulos), es el hecho de que no puede hacerse investigación en forma aislada, sino que debe realizarse dentro de una comunidad académica. Tal comunidad no tiene que estar necesariamente en un mismo lugar físico, pero deben existir las conexiones necesarias para que ese grupo colaborativo pueda considerarse realmente como una red de investigación, cada cual aportando de acuerdo a sus posibilidades y competencias específicas.

Antiguamente, los modelos tradicionales de formación de investigadores poseían un carácter artesanal y la supervisión no era muy común, sino que más bien el proceso se basaba en el aprendizaje autodidacta. La adquisición de competencias científicas se ha comparado con el aprendizaje o desarrollo de habilidades artísticas (Escribano Carnero, 2012). El sociólogo, filósofo y músico R. Sennett en su libro titulado *El Artesano* (The Craftsman, 2008) dice: 'Gran parte del conocimiento de los artesanos es tácito, lo que quiere decir que el mismo artífice de una obra sabe cómo hacerla, pero no puede o tiene dificultades para verbalizar lo que sabe'. Según este autor, lo mismo se aplicaba (y tal vez todavía se aplica, en cierta medida) a las capacidades de los investigadores científicos, las cuales se obtenían a partir de observar al mentor desarrollando sus

técnicas y, posteriormente, a través de una etapa de práctica, hasta desarrollar las habilidades requeridas para desenvolverse independientemente.

Hoy en día, el modelo más reciente de formación de investigadores como práctica educativa (principalmente en la realización del trabajo de tesis) involucra procesos de enseñanza-aprendizaje en donde el director de tesis asume un papel activo en la promoción del aprendizaje del estudiante, en contraposición con la metodología anterior conocida como 'pedagogía de la indiferencia', para referirse a ese modelo educativo tradicional basado casi exclusivamente en el acompañamiento y la observación del mentor en su ambiente de trabajo (Fernández Fastuca & Wainerman, 2015).

En comparación con las otras etapas de estudios en los posgrados académicos (centrados en la investigación), la realización de la tesis es la parte más difícil (y muchas veces, traumática) para los estudiantes y es la que genera mayor deserción y bajas tasas de graduación de los programas de posgrado. Las razones para no finalizar la tesis y separarse de un programa de posgrado pueden ser variadas. Entre ellas, las principales son: (a) un mal diseño del proyecto; (b) dificultades metodológicas o poca factibilidad de la investigación; (c) dificultades para escribir la tesis; (d) problemas personales externos; y (e) una supervisión inadecuada o negligente, entre otras (De la Cruz Flores & Abreu Hernández, 2012). Todas las razones mencionadas, con excepción de los problemas personales externos, pueden estar o están directamente asociadas con las competencias que posee el tutor o director de tesis. Esto es muy obvio en el caso de la última, pero en las primeras, las cuales están relacionadas con el proyecto de investigación en sí y su factibilidad, también juegan un papel fundamental los criterios y recursos del tutor. Sin embargo, como se mencionará adelante, existen diferencias marcadas entre el desarrollo de investigaciones de tesis en posgrados de áreas de Ciencias Sociales y de Letras, y en los de Ciencias Básicas y de la Salud. En el primer caso, los estudiantes podrían tener una mayor responsabilidad en el diseño experimental de la tesis, pero no necesariamente así en la determinación de la factibilidad del proyecto.

Por otra parte, el estudiante no deja de tener una responsabilidad enorme en el buen desarrollo de la etapa de investigación y surge la pregunta: ¿cuánto tiempo le dedica en promedio un estudiante a sus estudios de posgrado y a la realización de su tesis? En este sentido, surgen una serie de consideraciones que han incluso desencadenado discusiones interesantes, una de ellas al comparar los estudios de posgrado (doctorados principalmente) realizados por estudiantes en su país de origen y los realizados fuera de su país, en términos de la dedicación y el tiempo efectivo aplicado a los estudios y principalmente, al desarrollo y escritura de la tesis.

El síndrome 'todo menos la tesis' no es algo que sucede solamente en países de Latinoamérica, es un evento universal. Las estadísticas muestran que tanto en países como Estados Unidos y Costa Rica, en promedio, los estudiantes duran en hacer un doctorado entre 6,5 y 7 años (datos del Sistema de Estudios de Posgrado, UCR). En el caso de las maestrías académicas y algunas maestrías profesionales, la duración en

nuestro país es un poco menor, pero siempre mucho mayor que lo estipulado originalmente en los planes de estudios.

Es interesante mencionar que en las Universidades de todo el mundo, mucha de la investigación que se realiza (en ciertas áreas) está sostenida principalmente por personas en formación, las cuales constituyen la fuerza laboral más importante de muchos laboratorios y otros ambientes de investigación. Esto parecería ser un problema para los buenos estudiantes que son muchas veces vistos (tal vez para tutores sin muchos escrúpulos) como 'mano de obra barata' y extienden en gran medida el tiempo de la realización de su tesis. Es muy evidente que la supervisión de la tesis no puede verse en términos de las ventajas que representan para los supervisores, sino en el beneficio de los estudiantes en su transformación hacia convertirse en investigadores independientes. El carácter de independencia no es algo superfluo, sino que, en los procesos de formación y aprendizaje de los estudiantes, este componente es fundamental, como vamos a ver más adelante en este capítulo.

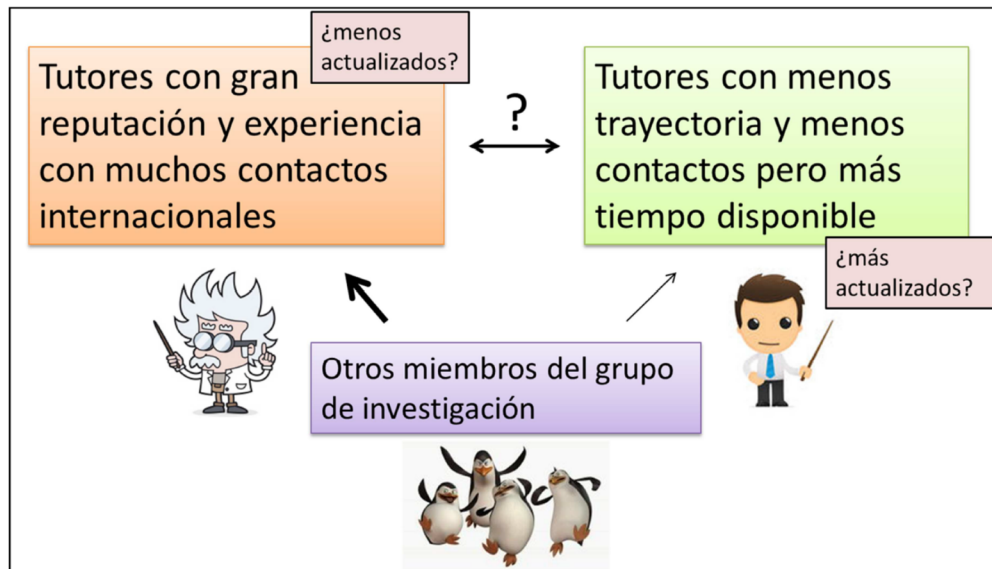


Figura 11.1: Diferentes perfiles de tutores de tesis y otros responsables del grupo de formación de los estudiantes de posgrado

11.2 Importancia del mentor, tutor, director o supervisor de tesis: casi un superhéroe

Los directores de tesis modelan las actividades, promueven la reflexión, mantienen a los estudiantes involucrados y, sobretodo, ajustan el nivel de dificultad de los desafíos que proponen a los estudiantes, a lo largo del proceso de producción de la tesis (De la Cruz Flores *et al.*, 2010).

En la escogencia de un supervisor de tesis surge la dicotomía de si lo mejor es un tutor con gran reputación, experiencia y muchos contactos internacionales, o por el contrario, es más conveniente un tutor con menos trayectoria y contactos, pero más tiempo disponible. Estos dos perfiles también podrían diferir en el nivel de actualización en el tema de estudio que ambos poseen (Fig. 11.1). Por otra parte, también hay otras personas que forman parte de los grupos de investigación, que tienen un papel fundamental en la formación de los estudiantes de tesis, a veces incluso en sustitución del supervisor. En la discusión sobre la dedicación del tutor en términos de tiempo, surge la siguiente pregunta: ¿cuántos estudiantes puede supervisar un director de tesis al mismo tiempo? Obviamente no podemos aplicar una fórmula matemática para calcularlo, pero esto nos lleva nuevamente al tema de la deserción de los estudiantes y el factor supervisión inadecuada o negligente (ver arriba).

Hay tres factores principales a considerar para la escogencia del tutor: (a) la reputación del potencial supervisor como investigador, como docente, o incluso como director de tesis previas; (b) la compatibilidad intelectual con el estudiante (en el tema de tesis, por ejemplo, o en otros tópicos académicos y hasta políticos); y (c) los beneficios del ambiente de trabajo, que incluyen por ejemplo el apoyo financiero, la capacidad instalada de los laboratorios, y otros factores relacionados. Varios estudios muestran que los estudiantes de Física y Ciencias Biológicas, por ejemplo, se dejan llevar más por el último criterio, mientras que los de Humanidades y Ciencias Sociales son más propensos a escoger su tutor de acuerdo con los dos primeros criterios (De la Cruz Flores & Abreu Hernández, 2012).

Volviendo al tema de la supervisión de tesis, y a R. Sennett y su libro, él dice: "*...el artesano está volcado hacia afuera, hacia su comunidad, mientras que el artista se vuelve hacia adentro, hacia sí mismo...*". Siguiendo la línea de comparar la enseñanza de la ciencia con la del arte, esto nos dice mucho sobre ciertas características de la personalidad del supervisor. Es decir, el ser un buen investigador (o científico teórico) no implica necesariamente que esa persona es buena dirigiendo estudiantes de tesis, pero definitivamente ayuda (Fernández Fastuca & Wainerman, 2015). En otras palabras, ambas facetas, la de ser investigador y la de ser tutor, implican competencias distintas.

Se considera que para ser un buen supervisor hay que tener la capacidad de seleccionar a los estudiantes y establecer relaciones básicas de trabajo conjunto, las cuales deben estar basadas en el respeto mutuo. También, el tutor debe ser conocedor (¿experto?) en el tema de la tesis y ser capaz de hacer evaluaciones objetivas de las acciones de los estudiantes. Como se mencionó, el tutor debe estar disponible, e incluso en muchas ocasiones le tocará dar apoyo en otros aspectos personales y profesionales de sus estudiantes.

11.3 Responsabilidades y motivaciones del estudiante de posgrado

Frecuentemente, al entrar al posgrado, los estudiantes no tienen una idea clara de en lo que se están metiendo. Otras veces sí tienen alguna idea, pero cambian sus intereses durante el desarrollo de las primeras etapas de sus estudios de posgrado. Es

en ese momento en el que el supervisor y el entorno de trabajo son fundamentales para guiar a los estudiantes a través de sus decisiones vocacionales y/o laborales. Aquí, la madurez del estudiante y su experiencia previa en investigación es fundamental porque la frustración puede ser un factor que inflencie el buen desarrollo del proyecto de investigación y la culminación exitosa de los estudios de posgrado.

Un estudio interesante titulado *Science PhD Career Preferences: Levels, Changes, and Advisor Encouragement* (Sauermaann & Roach, 2012), muestra que existen variaciones importantes en la valoración que los estudiantes de doctorado tienen durante sus estudios de posgrado, su motivación hacia la carrera que escogieron y sus impresiones sobre lo que están haciendo y les gustaría alcanzar (Fig. 11.2). Se considera que el papel del tutor durante esta etapa de formación es esencial para motivar o desmotivar a los estudiantes, no solo en términos del desarrollo exitoso de la tesis, sino también en sus escogencias laborales futuras y la importancia que podrían darle los doctorandos a las actividades académicas relacionadas con la docencia e investigación, o más bien a desarrollar estrategias para buscar puestos en el gobierno o establecer sus propias empresas.

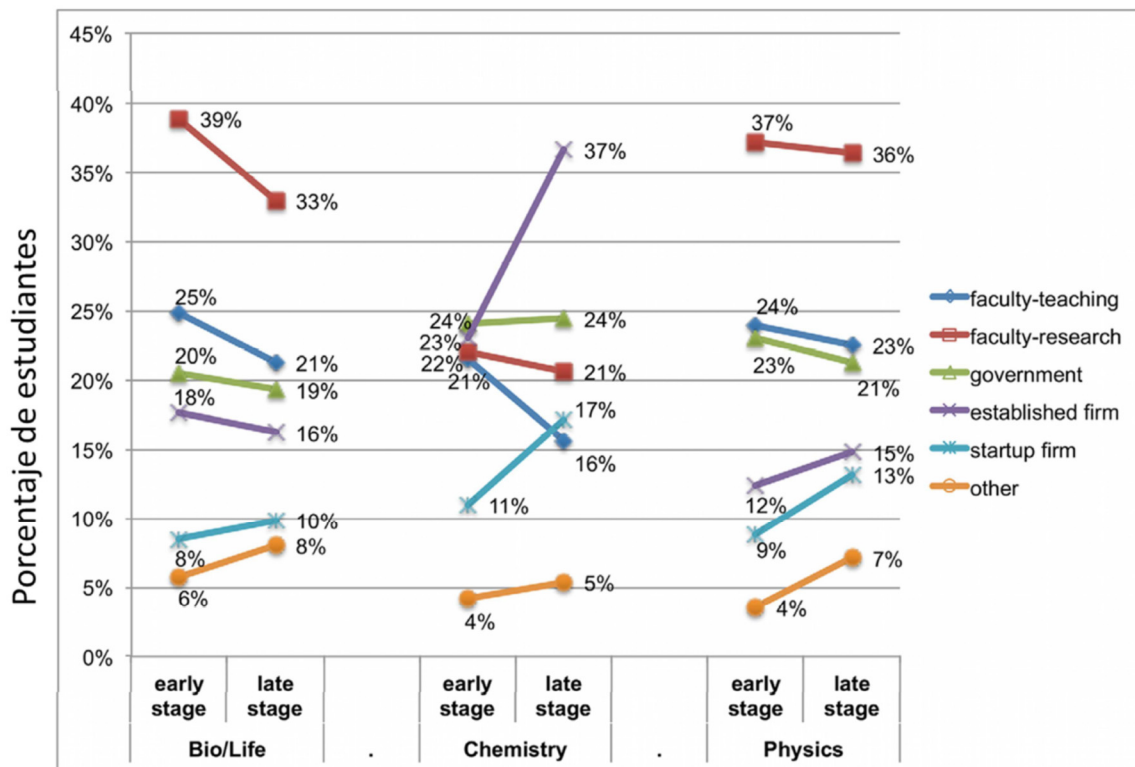


Figura 11.2: Estudio que muestra el porcentaje de estudiantes empadronados en tres áreas diferentes (Biología, Química y Física) que valoran como extremadamente atractiva su potencial carrera mientras están cursando los estudios de doctorado. Se hace una distinción entre los estudiantes que están en estados iniciales (antes de hacer los exámenes orales de candidatura) y en estados más avanzados (terminando el doctorado y en proceso de buscar un empleo). Tomado de: Sauermaann & Roach, 2012.

Hay que tener claro es que no todos los estudiantes son iguales, ni traen el mismo tipo de formación de grado, ni las mismas bases para realizar labores de investigación (Fig. 8.3). Cada estudiante necesita diferentes apoyos en diferentes momentos y hay que saber personalizar la enseñanza a ese nivel. Por otra parte, el supervisor de tesis debe priorizar los objetivos de investigación, saber identificar los posibles obstáculos y mantener siempre un equilibrio entre el estímulo y la crítica, actitud que se ha llamado 'rigurosidad compasiva', y que involucra una confrontación constante en el estudiante, entre la autonomía y la autoridad.

11.4 Habilidades y competencias que deberían desarrollarse en la formación de los estudiantes de posgrado

En el caso de los posgrados académicos o con un fuerte componente de investigación, se pretende que los estudiantes adquieran un profundo dominio teórico y conceptual, es decir que obtengan los conocimientos codificados (explícitos) y los conocimientos tácitos. En este sentido, deben desarrollarse habilidades como la de pensar analíticamente, potenciar la creatividad y originalidad y se debe empujar al estudiante a tomar riesgos intelectuales. Por otro lado deben desarrollarse habilidades para implementar herramientas y técnicas de investigación y para aprender a buscar información en fuentes confiables, además de adquirir la capacidad de analizar esta información objetivamente. Parte del aprendizaje involucra la capacidad de identificar problemas de estudio y traducir estos problemas en preguntas concretas, a través del razonamiento crítico y poder probar hipótesis basándose en evidencia verificable. Todo esto debe hacerse bajo los parámetros éticos que rigen la investigación y bajo altos estándares de rigor científico, valores que si no son de sentido común para el estudiante, deben ser transmitidos y fortalecidos desde el inicio de la formación de los investigadores.

Si su capacitación es buena, poco a poco el investigador en formación irá desarrollando y demostrando credibilidad académica y se irá transformando en un miembro reconocido de la comunidad científica nacional e internacional. Normalmente estos procesos van asociados a la adquisición de capacidades para transferir el nuevo conocimiento generado a la comunidad académica y a la sociedad en general. También se va desarrollando una madurez intelectual y emocional que le va permitiendo manejar proyectos con resultados inciertos y poco predecibles, sin estresarse demasiado, y la habilidad de persistir en la obtención de los objetivos con tenacidad, a través de la automotivación y cada vez con mayor independencia.

Otras habilidades accesorias que el investigador en formación debe adquirir al mismo tiempo de saber comunicar conceptos complejos, trabajar en equipo y hablar y presentarse efectivamente en público, son las de liderar a otros investigadores menos experimentados y apoyar la organización de actividades científicas de diversos niveles, asociado a la formación de redes de investigación.

La escritura de la tesis es uno de los aspectos más difíciles del proceso de formación. Es en este momento particular que se hace más evidente la capacidad de

análisis crítico desarrollada por el estudiante. Hay muchas actividades que complementan la formación de investigadores y que pueden facilitar el desarrollo de habilidades para la escritura de la tesis. Se pueden llevar a cabo talleres de tesis, presentaciones (orales y escritas) en actividades académicas (formales o informales) y por supuesto la escritura de artículos científicos o parte de estos, siempre con la guía directa del tutor.

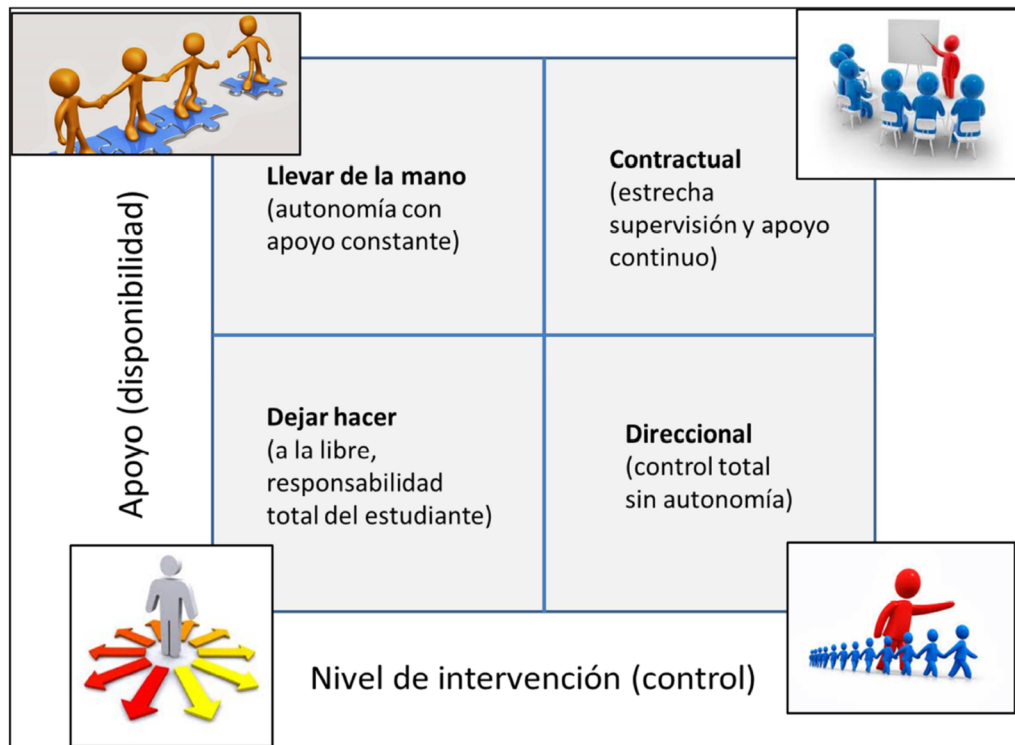


Figura 11.3: Estilos de supervisión de estudiantes de tesis de acuerdo a la disponibilidad del tutor y su control sobre el trabajo del estudiante.

11.5 Estilos de supervisión

Se considera que los tutores pueden clasificarse en cuatro categorías diferentes de acuerdo con su personalidad, madurez, trayectoria y capacidades para enseñar, las cuales están centradas en dos criterios o indicadores: el nivel de apoyo dado al estudiante (disponibilidad) y el grado de intervención en su trabajo (control) (Fig. 11.4). El estilo que se denomina 'dejar hacer' es el que tiene niveles menores de disponibilidad del tutor y de control sobre las labores del estudiante. Puede llegar a transformarse en un estilo un poco negligente, aunque hay personas muy independientes que pueden salir adelante bajo este sistema de tutelaje, en el cual la responsabilidad del trabajo recae

totalmente en el estudiante. Por otro lado, en el otro extremo tenemos el estilo 'contractual', que se caracteriza por poseer una estrecha supervisión y apoyo continuo.

Como estilos intermedios tenemos el llamado 'direccional', que implica poca disponibilidad y control total sin autonomía para que el estudiante desarrolle sus iniciativas personales; y el estilo que se ha denominado 'llevar de la mano', el cual otorga autonomía (poco control) pero suministra apoyo constante. Estos estilos pueden cambiar a lo largo de la vida profesional de un supervisor de tesis, y también dependen mucho del tipo de estudiante y sus requerimientos, pero están basados en gran medida en la personalidad del tutor.

En esta temática, podemos ubicar algunas malas prácticas de los directores de tesis que tienden a ser comunes y muy perjudiciales para los investigadores en formación. A continuación se presentan tres de estos comportamientos.

El primero es el que caracteriza al supervisor que no deja ningún espacio para que el estudiante desarrolle su originalidad y su inventiva y aprenda de sus propios errores, porque siempre le dice exactamente lo que debe hacer. Este tipo de supervisión es muy probable que no culmine con la formación de investigadores independientes, sino en técnicos que pueden manejar muy bien la parte metodológica y experimental de los proyectos de investigación. Es probable que estos estudiantes no se desarrollen como investigadores completos y posteriormente siempre requerirán de la asociación con otros investigadores que liderarán su trabajo.

Un segundo comportamiento, particularmente inapropiado, es el del supervisor que nunca está disponible o no le da seguimiento al trabajo de los estudiantes. Es muy común que esto se presente en la etapa de escritura de la tesis. En este caso, posiblemente el proceso tampoco resulte exitoso en la formación de investigadores completos. Si se logra que el estudiante culmine la tesis (probabilidad muy baja), posiblemente sea porque ya contaba con suficiente experiencia como para trabajar independientemente, o porque tuvo que buscar apoyo en otras personas para desarrollar su proyecto.

El tercer caso es el del supervisor que no conoce del tema de investigación en el cual el estudiante está realizando su tesis. Esto es más común de lo que podríamos pensar. Aquí estamos ante una situación extremadamente complicada y con repercusiones muy negativas. Posiblemente este estudiante nunca termine la tesis, ni se gradúe del programa de posgrado, pero si lo hace, posiblemente sea con una tesis de dudosa calidad o poco original, lo cual al final repercutirá en la no publicación de su trabajo, lo que evidencia una gran irresponsabilidad por parte del tutor y una pérdida de tiempo y recursos para la institución y para el país en general.

Este último caso de tutor nos lleva a describir una diferencia bastante clara en la supervisión de tesis en áreas de Ciencias Sociales y Letras y de Ciencias Básicas y de la Salud. Por el tipo de proyectos que se realizan, es evidente que en el caso de las áreas de Ciencias Sociales, son muchas veces los estudiantes (de maestría y doctorado) quienes

seleccionan su temática de tesis y desarrollan el trabajo en forma independiente. Aquí debemos hacer la distinción, porque ese no es el caso de las áreas de Ciencias Básicas, Ciencias de la Salud, e incluso Ingenierías y Agronomía. En estas áreas el tutor juega un papel fundamental y es quien propone el tema de tesis y las preguntas más relevantes. Además, normalmente el proyecto de tesis se desarrolla dentro de un grupo de investigación, muchas veces en el marco de líneas de investigación ya establecidas.

11.6 Conclusiones

Después de describir las responsabilidades y características de los tutores, y las habilidades y competencias que deberían desarrollarse en los investigadores en formación, es fundamental recalcar que la responsabilidad del estudiante es igualmente importante que la del tutor en el proceso de realización de una tesis de posgrado. Hay dos perfiles de estudiante que son complicados de dirigir y que, por más experimentado que sea el tutor, es difícil que pueda aportar algo en su formación como investigadores. Ambos tienen en común su poca o total carencia de interés por aprender algo del tutor y son: (a) el estudiante irresponsable que normalmente no está en el posgrado para aprender, sino por otras razones (o solo le interesa la obtención del título o diploma); y (b) el 'sabelotodo', que considera que nadie puede aportarle nada importante. Siempre se puede hacer el intento con este perfil de estudiantes, y hasta podrían finalizar la tesis y graduarse, pero posiblemente el proceso formativo no sea muy exitoso.

Es importante aceptar que no hay una única manera de hacer las cosas ni existen recetas para ser un buen supervisor y llevar a cabo la formación de investigadores, pero, como tratamos de exponer en este capítulo, existen algunas buenas prácticas que pueden aplicarse, muchas de las cuales surgen de la experiencia. Cada estudiante es diferente y las nuevas generaciones tienen valores culturales muchas veces distintos a los tradicionales. Además, la inmediatez y el exceso de información asociada a los avances tecnológicos, evidencian una brecha importante entre los estudiantes y los tutores que son responsables de su formación (Fig. 11.5). Sin embargo, esa co-evolución que se da en el proceso de enseñanza-aprendizaje de futuros investigadores (con sus supervisores), es la base del desarrollo de la investigación científica y es imperativo adaptarse con la responsabilidad que amerita, por diversas razones, pero principalmente por el impacto que tiene la formación del recurso humano de nuestros países, para el desarrollo futuro de la investigación científica.

Capítulo 12

Algunas pautas generales para crear un *Curriculum Vitae* acorde con el contexto social y económico actual

Cecilia Díaz Oreiro

‘Las asimetrías en la sociedad actual son, en buena medida, asimetrías en el conocimiento y en el uso del saber, y sin acciones explícitas y deliberadas, no se corregirán.’ Abreu-Hernández y de la Cruz-Flores, 2015.

12.1. Introducción

La competitiva realidad en la que vivimos, encaminados cada vez más hacia una economía basada en el conocimiento, nos obliga a buscar formas originales y creativas de plasmar en nuestra *hoja de vida*, quiénes somos y las ventajas que tenemos sobre otras personas para asumir las oportunidades laborales o de estudios que buscamos o que, ocasionalmente, se presentan. En la era actual de casi completo acceso a la información, no es difícil encontrar en internet numerosos esquemas y consejos de cómo construir diferentes y personalizadas formas de presentarnos ante posibles empleadores. Por esa razón, este capítulo no pretende repetir estas fórmulas, sino más bien presentar algo del contexto nacional actual en términos laborales y educativos y finalizar con algunas pautas generales, así como ciertas directrices simples, de cómo abordar el tema de construir nuestro *Curriculum Vitae* (CV).

12.2 Contexto laboral actual y de la educación superior en Costa Rica

El Informe del Estado de la Nación (2019) evidencia que Costa Rica está en un momento crítico en términos laborales ya que los empleos generados son escasos y la mayoría de estos son de baja calidad y poco calificados. Aproximadamente el 72% de las personas empleadas actualmente en el país son asalariadas institucionales, tanto en el sector público como privado y un 20% labora por cuenta propia, mientras que el restante 8% está ubicado en el servicio doméstico remunerado. Por otra parte, la cobertura de la educación superior en Costa Rica se ha estancado, en vista de que su mercado natural (una buena parte de los graduados de educación media que desean seguir estudios superiores) ya parece haberse alcanzado, reflejando razones tanto demográficas, como económicas, principalmente. Dice el informe del Estado de la Educación (2019) que el número de títulos universitarios otorgados por año ha venido disminuyendo desde el año 2014 a la fecha y actualmente la cantidad de jóvenes en el país con educación superior es muy similar a la que existía hace 10 años, lo cual

sorprende si tomamos en cuenta que existen 64 centros de educación superior funcionando actualmente en Costa Rica, eso sí, la gran mayoría privados, y que la tendencia mundial en lo que respecta a la obtención de títulos universitarios parece ir en dirección opuesta, como reporta la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2017).

Una forma generalizada de entender la educación universitaria es que todo lo que se enseña/aprende debe tener una utilidad práctica en la vida laboral. Personalmente no estoy de acuerdo en que el mercado deba, en forma impositiva, marcar las pautas de lo que debe ser la educación superior y de qué carreras deben impartirse en nuestros países como una forma de control económico o político. Sin embargo, es evidente que las personas estudian una carrera universitaria concretamente porque quieren insertarse en el mercado laboral, por lo que esto no debe obviarse. Por otra parte, las Universidades tienen la obligación moral de ser mucho más que eso, más que un simple lugar donde se enseña una profesión. Estas deben formar a los estudiantes como seres humanos completos, con una visión amplia del mundo y con valores éticos y sociales, fortaleciendo lo aprendido en los niveles de educación primaria y secundaria. Entonces, aunque la enseñanza de estos valores y aptitudes debería estar implícita y ser un eje transversal en la educación superior, no resulta tan evidente a la hora de crear y administrar la mayoría de los centros educativos (¿podemos realmente llamarlos universidades?) que imparten actualmente los planes de estudios de educación superior. Por ende, en la proyección que deben tener las universidades hacia la sociedad, considero que estas instituciones tienen la responsabilidad de tomar en cuenta seriamente las demandas laborales que el mercado evidencia y requiere, porque si esto no ocurre, se manifiesta una clara falta de articulación entre ambos procesos que resulta en una pérdida y/o desperdicio de recursos, que al menos en el caso de las universidades públicas, se percibe como una burla a los contribuyentes que esperan, de estos centros educativos, productos concretos, humanos y de otros tipos. Sobre el tema, recalcan acertadamente Hernández Bringas y colaboradores (2015): *‘La condición de la Universidad pública implica un claro compromiso con la sociedad en su conjunto, para formar profesionales en todas las áreas del conocimiento, capaces de desenvolverse en un mundo cambiante y exigente; profesionales con conciencia, compromiso social y pensamiento crítico’.*

Por otra parte, si no se toma en cuenta la realidad del mercado laboral, se cae también en un engaño para las personas que ingresan al nivel de educación superior, con expectativas claras de lo que desean que ocurra al finalizar sus estudios en términos de la obtención de un trabajo formal, por lo que es importante revisar los perfiles laborales de muchas carreras y el contexto social y económico en el que estamos inmersos y si fuese el caso, actualizarse, reinventarse y/o crear planes de estudios que abran nuevos nichos laborales que llenen las constantes demandas existentes o desarrollen nuevos espacios de trabajo con características innovadoras. Al respecto, dice el Informe del Estado de la Educación (2019): *‘De especial importancia para un desarrollo del país que se base en actividades de alto valor agregado, es graduar profesionales con habilidades para el emprendimiento de calidad y la innovación’.*

Es por esas razones que desde inicios del siglo XXI surge en el campo de la educación el término de 'competencias' (a pesar de que con otra terminología es un abordaje pedagógico bastante más antiguo), como un concepto que abarca los aspectos integrales requeridos por el mercado laboral en las personas graduadas, las cuales deberían ser suplidas a nivel de la educación superior. La educación basada en competencias, sin embargo, es un tema complejo, que muestra tanto seguidores como opositores, porque tiene que ver con aspectos relacionados con las demandas específicas del mercado y porque a veces se interpreta como que solamente se debe enseñar/aprender lo que se requerirá para realizar un trabajo específico, dejando de lado el aprendizaje de capacidades y destrezas que permitirían la solución de problemas nuevos y más complejos (Díaz-Barriga, 2005, 2011). Es un hecho que la mayoría de las personas cambiará de puestos de trabajo muchas veces en la vida, ya sea dentro de la misma o entre diferentes instituciones o en algún momento decidirán crear sus propios emprendimientos, muchas veces con un alto grado de incertidumbre y es en esos puntos de quiebre que queda muy claro lo que escribió el biólogo Charles Darwin en su famoso libro de evolución orgánica: *'no son las especies más fuertes ni las más inteligentes las que sobreviven, sino las que mejor se adaptan al cambio'*.

Se habla mucho también hoy en día de lo que se consideran 'habilidades blandas' (*soft skills*), que independientemente de la carrera que se estudie, son necesarias también para llenar las demandas que exige el ser un profesional competitivo y que sabe desenvolverse satisfactoriamente en el mercado laboral actual. Estas tienen que ver con relaciones interpersonales, la capacidad de dirigir a otras personas y el poder trabajar colaborativamente; también se asocian con la forma de organizar nuestras ideas y como esto se traduce en efectividad. Algunas de estas capacidades son aprendidas, pero muchas pueden ser genéticas y vienen asociadas a nuestra personalidad. Sobre este tema es interesante revisar la teoría de los modos cognitivos basada en el aporte diferencial de las áreas ventral y dorsal de la corteza cerebral y como estas ayudan a determinar nuestra personalidad, como nos relacionamos con los demás y la forma en que reaccionamos ante diferentes estímulos (Borst et al., 2011).

Los programas educativos basados en competencias presentan un abordaje enfocado en los estudiantes como entes completos, con todas sus dimensiones, no solo en las facetas intelectuales y profesionales, sino también en los aspectos morales y psicológicos. También se hace énfasis en el desarrollo de la creatividad y el pensamiento crítico, fortaleciendo la automotivación, la madurez y la seguridad necesarias para enfrentar la vida (Macchiarola, 2007; Martínez Martínez et al., 2012; Vargas Leyva, 2008).

En un estudio reciente denominado PROFLEX (*El Profesional Flexible en la Sociedad del Conocimiento*), cofinanciado por la Unión Europea, donde se evaluó la percepción que tenían los graduados de universidades de América Latina sobre la adquisición de competencias laborales, sobresalen como puntos débiles los problemas para hablar y escribir en idiomas extranjeros, así como la poca capacidad de liderazgo; mientras que como puntos fuertes se incluyen la buena utilización de herramientas informáticas y el saber trabajar en equipo y bajo presión (Mora et al., 2010).

Todo lo anterior nos lleva a repensar un poco el tema de cómo debemos presentarnos ante los potenciales empleadores cuando nos graduamos de una carrera universitaria y nos enfrentamos al mundo laboral, aunque en algunas áreas se presente primero la posibilidad de postergar un poco esta decisión siguiendo estudios de posgrado, con opciones académicas o profesionalizantes, y que hoy en día se ofrecen como un valor agregado que puede marcar la diferencia entre ser contratado o no, por lo menos en el caso de ciertas carreras. Iniciativas novedosas recientes de creación de planes de estudios de posgrado en nuestro país incluyen por ejemplo: la Maestría en Bioinformática del Programa de Posgrado en Ciencias Biomédicas, la Maestría en Ingeniería de Biosistemas del Programa de Posgrado en Ingeniería Agrícola y las Maestrías en Ciencias Actuariales, en Sistemas Térmicos y de Energía y en Tecnologías de Información y Comunicación para la Gestión Organizacional, entre otros, todas carreras ofrecidas por la Universidad de Costa Rica (UCR). Destaca también la creación del Doctorado en Ingeniería en el año 2014, un programa conjunto entre la UCR y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, que ya cuenta con algunos graduados incorporados al ambiente laboral y que sigue la línea sugerida por diversos expertos en políticas públicas sobre que la oferta educativa nacional no debería ser repetitiva y redundante, sino innovadora y que propicie las alianzas entre entidades para así permitir la mejor utilización de los recursos en la formación integral de las personas ([Informe Estado de la Educación, 2019](#)). Varios de estos programas, a diferencia de la casi totalidad de la formación universitaria de grado y posgrado que se ofrece hoy en día en el país, tienen un abordaje orientado hacia ciertas competencias, el cual no está para nada en contraposición con el aprendizaje de contenidos, pero muestra algunas diferencias formativas claras.

El otro factor que mencionan los estudios como el Informe del Estado de la Educación, es la necesidad de crear en el país carreras interdisciplinarias, un tema complicado para las Universidades. En mi opinión, los estudios de grado deberían ser disciplinarios por naturaleza, porque es ahí donde se aprende lo que cada carrera específica debe enseñar a sus futuros profesionales para que puedan realizar las labores básicas propias de esa carrera. Si esta formación se sacrifica (como ha ocurrido en algunas oportunidades debido a algunas actualizaciones curriculares), las personas al graduarse ni siquiera habrán adquirido las bases suficientes para desempeñarse apropiadamente en su propia disciplina, lo cual tiene un impacto laboral enorme. El posgrado, por otro lado, es un asunto diferente, y obviamente es curricularmente mucho más flexible, aunque tampoco hay consenso sobre si este debe ser de naturaleza disciplinaria o inter/multidisciplinaria y la polémica es más fuerte en el caso de los doctorados. Pero hay que tener cuidado a la hora de entender el concepto de interdisciplinaria en un plan de estudios ya que no siempre estamos pensando en lo mismo. Tomemos por ejemplo el Doctorado en Ciencias de la UCR, el cual a primera vista podría parecer interdisciplinario porque acepta estudiantes de muchas carreras diferentes, sin embargo, al ser poco escolarizado está basado exclusivamente en la realización de investigaciones científicas individuales. Si observamos las temáticas de esas investigaciones notamos que la mayoría de ellas son totalmente disciplinarias, por lo que a veces confundimos el concepto de interdisciplinaria con otras cosas.

12.3 Pautas generales para la realización del Curriculum Vitae

Volviendo al tema del CV, la revista estadounidense de negocios y finanzas *Forbes* dice que la obtención de un empleo está basada en un 60% en formación, capacidades y talentos y en un 40% en la simpatía que puede sentir el empleador por el candidato; entonces, aunque esta aseveración resulte claramente subjetiva, puede ayudarnos a establecer una pauta más o menos general de los aspectos que deberían plasmarse en nuestro CV. Para lograr esa parte más emocional de primera aceptación, se deben mostrar sutilmente aspectos positivos de nuestra personalidad, lo cual puede evidenciarse si incluimos al final del documento un párrafo que describa brevemente algunos de nuestros pasatiempos y actividades de voluntariado y nuestras motivaciones principales para invertir parte de nuestro tiempo en esas actividades. Esto debe hacerse sin exagerar y siempre con la seriedad que amerita y sin olvidarnos de que estamos compitiendo por una posición laboral o de estudios y que debemos mostrar la madurez suficiente como para ser tomados en serio.

Uno de los aspectos más relevantes que mencionan todos los artículos sobre como presentarnos ante los empleadores, es la idea de hacer un CV personalizado y en concordancia con el puesto laboral al cual estamos aspirando, es decir, no caer en la trampa de tener solamente un CV genérico para aplicar indiscriminadamente en cualquier oportunidad que se presente, más aún si nuestra intención es la de ser aceptados en un programa de estudios de posgrado y especialmente si es en el extranjero (cada país tiene algunas diferencias en términos de las características que debe tener el CV para aplicaciones laborales). Además, es muy importante incluir algunas palabras clave (sin caer en *clichés*) al inicio de nuestra descripción. Esto último es especialmente importante en las grandes empresas donde la selección inicial de los candidatos no la hace una persona sino una aplicación informática que busca ciertos términos relacionados con el puesto. En la actualidad, se estila incluir justo debajo de nuestro nombre e información para contactarnos (que también puede incluir una fotografía discreta), un párrafo no muy largo que describa quienes somos y los aspectos más relevantes de nuestra personalidad que podrían estar asociados con las responsabilidades laborales y es ahí donde pueden incluirse estos términos o frases que pueden atraer la atención del empleador.

El otro factor que parece ser importante a la hora de hacer una hoja de vida con posibilidades de éxito (para por lo menos llegar al punto de lograr una entrevista personal previa a la obtención del puesto o la aceptación en el programa de estudios), es el excluir del CV toda información irrelevante o desactualizada sobre la experiencia laboral previa, a menos que esta sea parte de una historia progresiva, que sirva para mostrar un proceso coherente en el tiempo, incluso desde los trabajos informales y asistencias realizadas como estudiantes. En otras palabras, se deben incluir experiencias laborales mayores a los 10 años solo si esto sirve para contar una historia de vida que ayude a comprender nuestros planes trazados y metas futuras, pero también, aspectos vocacionales e intereses académicos tempranos.

Los logros alcanzados hasta la fecha son sin duda el indicador profesional más importante que debe incluirse en el CV, donde se presentan estudios previos y otras actividades académicas realizadas, que pueden incluir, asistencia a congresos y simposios o cursos de capacitación (tanto dentro como fuera del país) con los títulos de las ponencias realizadas y los afiches presentados, participación en proyectos de investigación y acción social, docencia impartida y por supuesto, las publicaciones científicas. Complementario a esto, deben incluirse también dos tipos de 'competencias' que son actualmente esenciales en el mercado laboral: las habilidades tecnológicas, que normalmente están asociadas principalmente con el uso de herramientas y lenguajes de cómputo y el conocimiento (total o parcial) de diferentes idiomas.

Lo último que me gustaría agregar y que es importante que aparezca en nuestro CV son las referencias personales y esto me lleva a contar una historia que creo que ilustra la importancia de incluir algunos contactos que pueden dar fe de quienes somos y lo que hemos hecho y establecer las pautas de nuestro potencial como jóvenes profesionales. Cuando estaba terminando mi maestría y revisando universidades de Estados Unidos para llevar a cabo mis estudios de doctorado, encontré, a través de la revisión de bibliografía de los abordajes experimentales que me interesaba aprender y poder desarrollar luego al regresar al país, un laboratorio que llamó mi atención. Le escribí una carta (era el año 1992 y en ese tiempo no había internet) al investigador que dirigía ese laboratorio, a quien no conocía y obviamente él nunca había escuchado de mí, y quien muy amablemente me contestó e indicó que aplicara a la universidad directamente. Así lo hice, enviando todos los documentos requeridos, títulos y notas de exámenes de inglés y conocimientos generales y todo lo demás, incluyendo algunas cartas de recomendación que pude conseguir en ese momento. Sin realizar ninguna entrevista, en un corto tiempo me comunicaron que fui aceptada y así llevé a cabo mi doctorado en esa universidad y la tesis en ese laboratorio, regresando luego de algunos años a Costa Rica. En una oportunidad le pregunté a mi tutor las razones por las cuales me había aceptado sin conocerme. Ciertamente yo ya tenía una maestría, lo cual demostraba cierta experiencia previa en el laboratorio (comparada con la gran mayoría de los demás admitidos al programa de doctorado), así como varias publicaciones que había podido obtener gracias a la colaboración con investigadores del Instituto Clodomiro Picado en mi formación de maestría. Sin embargo, él me indicó que la decisión que tomó fue principalmente debido a una recomendación que venía en mi CV y que yo le había solicitado previo a enviar mi aplicación a un investigador extranjero que de casualidad en ese tiempo estaba de visita en nuestro instituto y a quien yo estaba ayudando con unos experimentos. Mi tutor tampoco lo conocía, pero puso su confianza en esa referencia y lo que decía sobre mí (algo que nunca podré saber, por supuesto) y en gran parte por eso me aceptó. Posiblemente eso marcó la diferencia en la decisión de la Universidad, porque el contar con un tutor era algo muy poco común en la admisión en universidades estadounidenses como la que yo estudié, ya que el sistema establecido consistía en realizar rotaciones en diferentes laboratorios del hospital hasta ser aceptado en alguno de ellos. Creo que esta historia personal nos demuestra que las recomendaciones o referencias, en cualquier aplicación que hagamos, ya sea para optar por una oportunidad laboral, por la aceptación en un programa de doctorado o por una beca de estudios, son algo que no debemos tomar a la ligera y que puede tener un gran

impacto en nuestras posibilidades de obtener lo que queremos. No debemos olvidar que la ciencia y la divulgación de los conocimientos científicos están basados en la confianza que depositamos en nuestros colegas investigadores y que a pesar de que se ha cuestionado de muchas formas y es un sistema que está muy lejos de ser perfecto (la creación de los perfiles académicos, laborales y personales no escapa a la probabilidad de encontrar atestados falsos, plagios significativos en los trabajos de tesis y varias otras formas de fraude científico) (Fig.12.1), todavía seguimos aceptándolo y depositando en él nuestra confianza en su funcionamiento.

Hasta este momento me he enfocado en el contenido y no he mencionado casi nada sobre los aspectos de forma relacionados con la creación de un CV que pueda transmitir de la mejor manera, el mensaje que queremos y así poder impresionar positivamente a los evaluadores. Este es todo un tema, que tiene bases en la psicología y en las ciencias de la comunicación, pero es un tema al que no me referiré extensivamente. Sin embargo, es importante indicar aquí que hay gente que afirma que el mensaje y el medio para transmitir ese mensaje no son asuntos separados, en otras palabras, que 'el medio es el mensaje' (McCluhan, 1964), una aseveración increíblemente provocativa y un poco exagerada. Sin embargo, sin ir tan lejos, hay muchos estudios que demuestran que la forma en la que transmitimos un mensaje determina, o por lo menos afecta en gran medida, ese mensaje (Moulton et al., 2017). Por esta razón, al igual que en el caso de una clase, un discurso o una conferencia, con el CV también estamos tratando de transmitir un mensaje, en este caso sobre quiénes somos y lo que sabemos y podemos hacer y este contenido debe poder llegar en forma efectiva. Por ende, es importante no solo prestar atención a la información que presentamos sino también al orden y la forma en la que estructuramos el relato, la redacción, la ortografía e incluso los colores y tipos de letra que utilizamos.

Para finalizar, es importante tomar en cuenta que un CV no es un documento estático, es un ensayo que refleja nuestra historia de vida en el ámbito laboral y académico y que por lo tanto cambia constantemente, o por lo menos así debería ser si siempre nos mantenemos activos, ya que como resume la frase ampliamente conocida del escritor motivacional Denis Waitley: *'el aprendizaje continuo es el requerimiento mínimo para ser exitoso en cualquier campo'*. Es por esta razón que aquí les dejo un mensaje a esos jóvenes científicos que piensan que la obtención de un doctorado es el final del camino y que ya no hay nada más que probarse a sí mismos o demostrar a los demás colegas, a la universidad o al país: yo les digo que ese gran logro, para nada despreciable por cierto, es solo el primer paso de una larga, gratificante y potencialmente exitosa carrera como investigadores científicos, algo que puede considerarse por muchos como solo un trabajo pero que es realmente mucho más que eso.

Referencias

- Abreu-Hernández LF, de la Cruz-Flores G (2015) Crisis en la calidad del posgrado ¿Evaluación de la obviada o evaluación de procesos para impulsar la innovación en la sociedad del conocimiento? *Perfiles Educativos* **37**, 162-182.
- Alberts B (2013) Impact factor distortions. *Science* **340**, 787.
- Barker L, Rattihalli RR, Field D (2016) How to write a good research grant proposal *Paediatr. Child Health* **26**, 105-109.
- Bohannon J (2013) Who's afraid of peer review. *Science* **342**, 60.
- Borst G, Thompson WL, Kosslyn SM (2011) Understanding the dorsal and ventral systems of the human cerebral cortex: beyond dichotomies. *American Psychologist* **66**, 624-632.
- Bourne PE, Chalupa LM (2006) Ten simple rules for getting grants. *PLoS Comput. Biol.* **2**, e12.
- Bunge M (1978) ¿Cuál es el método de la ciencia?. En: Bunge, M., La Ciencia. Su Método y su Filosofía. Editorial Siglo Veinte, Buenos Aires, Argentina, pp. 37-68.
- Lomonte B, Sasa M, Rey-Suárez P, et al. (2016) Venom of the coral snake *Micrurus clarki*: proteomic profile, toxicity, immunological cross-neutralization, and characterization of a three-finger toxin. *Toxins* **8**, 138.
- Coronado G (1997) La actividad científica en Costa Rica: un bosquejo de su evolución, pp.257-276. El Otro Laberinto, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Crombie AC (1974) Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo/2. Siglos XIII – XVII. Alianza Editorial, Madrid, España, 354 p.
- de Oliveira DM, Buckeridge MS, Dos Santos WD (2017) Ten simple rules for developing a successful research proposal in Brazil. *PLoS Comput. Biol.* **13**, e1005289.
- De la Cruz Flores G, Díaz-Barriga Arceo F, Abreu Hernández LF (2010) La labor tutorial en los estudios de posgrado. Rúbricas para guiar su desempeño y evaluación. *Perfiles Educativos* **33**, 83-102.
- De la Cruz Flores G, Abreu Hernández LF (2012) Atributos de tutores de posgrado por campo disciplinario. La perspectiva de estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Perfiles Educativos* **34**, 10-27.
- Díaz-Barriga A (2005) El enfoque de competencias en la educación. ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? *Perfiles Educativos* **28**, 7-36.
- Díaz-Barriga A (2011) Competencias en educación. Corrientes de pensamiento e implicaciones para el currículo y el trabajo en el aula. *Universia* **2**, 1-24.
- Doitsh G, Galloway NL, Geng X, et al. (2014) Cell death by pyroptosis drives CD4 T-cell depletion in HIV-1 infection. *Nature* **505**, 509-514.
- Erren TC, Bourne PE. (2007) Ten simple rules for a good poster presentation. *PLoS Comput Biol.* **3**: e102. doi: 10.1371/journal.pcbi.0030102
- Escribano Carnero O (2012) Richard Sennett. El Artesano (Barcelona: ANAGRAMA, 2009). *OBETS, Revista de Ciencias Sociales* **7**, 337-341.
- Fernández Fastuca L, Wainerman C (2015) La dirección de tesis de doctorado: ¿una práctica pedagógica? *Perfiles Educativos* **37**, 156-171.
- Fernández ML, Yunes P, Arce-Bejarano R, et al. (2018) Intravascular hemolysis induced by phospholipases A₂ from the venom of the Eastern coral snake, *Micrurus fulvius*: functional profile of hemolytic and non-hemolytic isoforms. *Toxicol. Lett.* **286**, 39-47.
- Grant E (1996) The Foundations of Modern Science in the Middle Ages. Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts, 247 pp. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Gutiérrez JM (2019) Reflexiones desde la Academia. Universidad, ciencia y sociedad. Editorial Arlekin, 189 pp.
- Hernández Bringas HH, Martuscelli Quintana J, Moctezuma Navarro D, Muñoz-García H, Narro JNJ (2015) Los desafíos de las universidades de América Latina y el Caribe ¿Qué somos y a dónde vamos? *Perfiles Educativos* **37**, 202-218.
- Herrera R (2011) Conocimiento, innovación y desarrollo. En: *Conocimiento, Innovación y Desarrollo* (Herrera R. & Gutiérrez J.M., Eds.), p.17-48. Editorial Impresión Gráfica del Este, San José.
- Laemmli UK (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* **227**, 680-685.

- Lomonte B, Ainsworth S (1999) Universidad de Costa Rica, líder en producción científica internacional. *Girasol* **2**, 3-5.
- Lomonte B, Ainsworth S (2000) Desarrollo científico en Costa Rica: un análisis bibliométrico a través del Science Citation Index, 1980-1998. Memorias de la Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica, San José (Vol. 6, tomo III), pp. 81-114.
- Lomonte B, Ainsworth S (2002) Publicaciones científicas de Costa Rica en el Science Citation Index: análisis bibliométricos del trienio 1999-2001. *Revista de Biología Tropical* **50**, 951-962.
- Lomonte B, Pla D, Sasa M, Tsai WC, et al. (2014) Two color morphs of the pelagic yellow-bellied sea snake, *Pelamis platura*, from different locations of Costa Rica: snake venomomics, toxicity, and neutralization by antivenom. *J. Proteomics* **103**, 137-152.
- Macchiarola V (2007) Currículum basado en competencias. Sentidos y críticas. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería* **14**, 39-46.
- Martínez Martínez A, Cegarra Navarro JG, Rubio Sánchez JA (2012) Aprendizaje basado en competencias: Una propuesta para la autoevaluación del docente. Profesorado. *Revista de curriculum y formación del profesorado* **16**, 373-386.
- McCluhan M (1964) The medium is the message. In: Understanding of media: The extensions of man. p. 1-18.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología - MICIT (2009) Indicadores Nacionales 2006-2007: Ciencia, Tecnología e Innovación. Costa Rica, 100 pp.
- McClellan JE, Dorn H (1999) Science and Technology in World History. An Introduction, 404 pp. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA.
- Monge-Nájera J, Ho YS (2012) Costa Rica publications in the Science Citation Index Expanded: a bibliometric analysis for 1981-2010. *Revista de Biología Tropical* **60**, 1649-1661.
- Montecucco C, Gutiérrez JM, Lomonte B (2008) Cellular pathology induced by snake venom phospholipase A2 myotoxins and neurotoxins: common aspects of their mechanisms of action. *Cell. Mol. Life Sci.* **65**, 2897-2912.
- Mora JG, Carot JM, Conchado A (2010) Informe resumen de los resultados del Proyecto PROFLEX en Latinoamérica. Comparativa con el Proyecto REFLEX en Europa. Universidad Politécnica de Valencia/Centro de Gestión de la Calidad y del Cambio. pp. 1-70.
- Mora-Cartín R, Chacón-Díaz C, Gutiérrez-Jiménez C, et al. (2016) N-formyl-perosamine surface homopolysaccharides hinder the recognition of *Brucella abortus* by mouse neutrophils. *Infect. Immun.* **84**, 1712-1721.
- Moreno E (2014) Los cerebros se fugan dentro de Costa Rica. *Revista Áncora, La Nación (Costa Rica)*, 28 de setiembre.
- Moreno E, Alveteg T (2003) Collaboration between Sweden and the public universities of Nicaragua. Swedish International Development Cooperation Agency (Edit. Sida, Evaluation 03/31), Stockholm, Sweden.
- Moreno E, Gutiérrez JM (2008) Ten simple rules for aspiring scientists in a low-income country. *PLoS Computational Biology* **4**, e1000024.
- Moreno E, Lomonte B, Gutiérrez JM (2008) Computational Biology in Costa Rica: the role of a small country in the global context of bioinformatics. *PLoS Computational Biology* **4**, e1000040.
- Moreno E, Gutiérrez JM, Chaves-Olarte E (2011). The struggle of neglected research groups: ten years of NeTropica efforts to promote the investigation in tropical diseases in Central America. *PLoS Neglected Diseases* **5**, e1055.
- Moulton ST, Türkay S, Kosslyn SM (2017) Does a presentation's medium affect its message? Power Point, Prezi, and oral presentations. *PLOS One* **12**, 1-39.
- National Science Foundation (2015) National Center for Sciences and Engineering Statistics. Doctorate recipients from U.S. universities, 26 pp.
- Needham J (1972) The Grand Titration. Science and Technology in East and West, 350 pp. George Allen & Unwin Ltd, London, UK.
- Noriyuki M, Shibayama S (2015) Impact of inbreeding on scientific productivity: a case study of a Japanese university department. *Research Evaluation* **24**, 146-157.
- OECD (2017) Education at a Glance 2017. OEDC Indicators. Paris, OECD Publishing.
- Oster S, Cordo P (2015) Successful grant proposals in science, technology and medicine: a guide to writing a narrative, 377 pp. Cambridge University Press.

- Pautasso M (2013) Ten simple rules for writing a literature review. *PLoS Comput. Biol.* **9**, e1003149.
- Peterson TC, Kleppner SR, Botham CM (2018) Ten simple rules for scientists: Improving your writing productivity. *PLoS Comput. Biol.* **14**, e1006379.
- PLoS collections (2018) Ten simple rules. <https://collections.plos.org/ten-simple-rules>.
- Pritchard A (1969) Statistical bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation* **25**, 348-349.
- Programa Estado de la Nación (2014) Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, 42 pp.
- Programa Estado de la Nación (2019) Estado de la Educación en Desarrollo Humano Sostenible, 7 ed. San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación (2019) Informe Estado de la Nación. 25 ed. San José, Costa Rica.
- Radford T (2011) Of course scientists can communicate. *Nature* **469**, 445.
- Rolandi M, Cheng K, Pérez-Kriz S (2011) A brief guide to designing effective figures for the scientific paper. *Advanced Materials* **23**, 4343-4346.
- Shapin S (1996) *The Scientific Revolution*, 218 pp. The University of Chicago Press, Chicago, IL, USA.
- Sternberg RJ (2014) *Writing successful grant proposals from the top-down and bottom-up*. Oklahoma State University, 102 pp. Sage Publications Inc., Washington DC.
- Sauermann H, Roach M (2012) Science PhD carrier preferences: levels, changes, and advisor encouragement. *PLoS One* **7**, e36307.
- Sennett, R. 2008. *The Craftsman*. Ed: Yale University Press New Haven.
- The Editors (2012) 75 Reasons to become a scientist. *American Scientist* **100**, 450.
- Turner HR (1995) *Science in Medieval Islam. An illustrated introduction*, 262 pp. University of Texas Press, Austin, TX, USA.
- UNESCO (2000) *World Conference on Science*, 547 pp. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. ISBN 1903598001, Paris & London.
- Vargas Leyva MR (2008) *Diseño curricular por competencias*. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería. México. pp. 1-89.
- Vasconcelos SM, Sorenson MM, Leta J, Sant'ana MC, Batista PD (2008). Researchers' writing competence: a bottleneck in the publication of Latin-American science? *EMBO Reports* **9**, 700-702.
- Villoro L (2010) *El pensamiento moderno. Filosofía del Renacimiento*, 171 pp. Fondo de Cultura Económica, México.
- Weinbaum C, Landree E, Blumenthal MS, Piquado T, Gutierrez CI (2019) Ethics in scientific research. An examination of ethical principles and emerging topics. RAND Corp., Calif. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2912.html
- Yuan K, Cai L, Ngok SP, Ma L, Botham CM (2016) Ten simple rules for writing a postdoctoral fellowship. *PLoS Computational Biology* **12**, e1004934.
- Zachariah R, Kumar AM, Reid AJ, Van den Bergh R, Isaakidis P, Draguez B, Delaunois P, Nagaraja SB, Ramsay A, Reeder JC, Denisiuk O, Ali E, Khogali M, Hinderaker SG, Kosgei RJ, van Griensven J, Quaglio GL, Maher D, Billo NE, Terry RF, Harries AD (2014) Open access for operational research publications from low- and middle-income countries: who pays? *Public Health Action* **4**, 142-144.