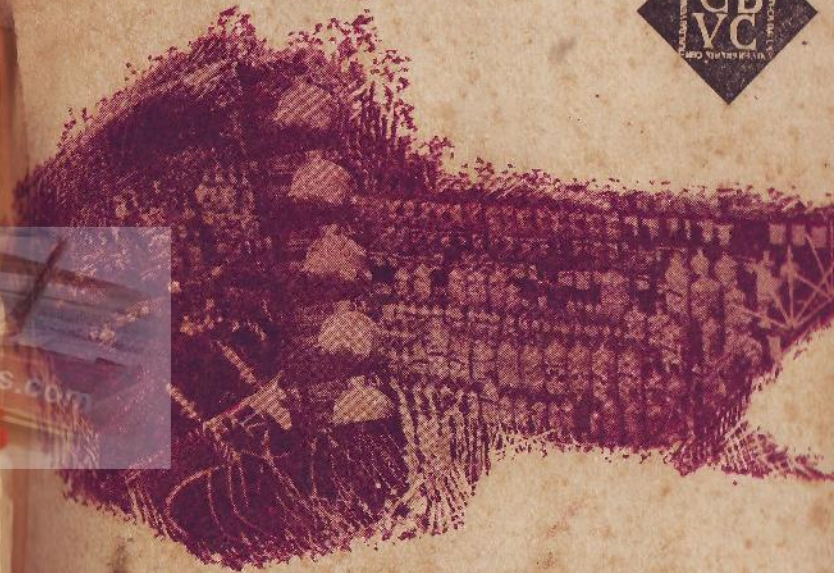


W. I. B. BEVERIDGE



El Arte de la  
Investigación  
Científica

W. I. B. BEVERIDGE



El Arte de la  
Investigación  
Científica

W. I. B. BEVERIDGE

EL ARTE DE LA  
INVESTIGACION  
CIENTIFICA

*Traducción:*

DR. OSWALDO GRILLO

*(Del Dpto. de Microbiología,  
Facultad de Ciencias)*

*Colección Avance*

EDICIONES DE LA  
BIBLIOTECA  
CENTRAL DE  
VENEZUELA

10

EDICIONES DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

W. W. Norton & Company Inc., de Nueva York,  
publicó la obra en inglés bajo el título de  
*The Art of Scientific Investigation*



*La investigación científica no es pro-  
piamente una ciencia; es un arte.*

W. H. GEORGE

## PREFACIO

Los aparatos refinados juegan un importante papel en la ciencia actual, pero a veces pienso si no nos inclinamos a olvidar que el instrumento más importante de las investigaciones debe ser siempre la mente humana. Es verdad que se dedica mucho tiempo y esfuerzo para adiestrar y equipar la mente del científico, pero se presta poca atención a los detalles relacionados con su mejor aprovechamiento. No existe ningún libro satisfactorio que sistematice el conocimiento que se posee acerca de la práctica y habilidad mental —el arte— de la investigación científica. Esta falta me ha incitado a escribir un libro que sirva como una introducción a la investigación. Mi pequeña contribución a la literatura de un tópico tan difícil y complejo está dirigida principalmente para el estudiante que intenta dedicarse a la investigación, pero tengo la esperanza que también pueda interesar a un público más amplio. Debido a que mi experiencia personal en la investigación ha sido adquirida durante el estudio de las enfermedades infecciosas, he escrito principalmente para los estudiantes de este campo. Pero casi todo el libro puede ser igualmente aplicado a cualquier otra rama de la biología experimental y gran parte de él, a cualquier campo científico.

He intentado analizar los métodos mediante los cuales se efectúan los descubrimientos, así como sintetizar algunas generalizaciones a partir de las experiencias personales de algunos científicos connotados y también incluir cualquier otra información que pueda interesar y ser útil al

joven científico. Con el objeto de presentar todo este material en forma de un tratado conciso y fácil de entender, he adoptado en algunos sitios una actitud francamente didáctica y tal vez haya simplificado demasiado algunos de los temas. Nada, sin embargo, puede estar más lejos de mis intenciones que el aparecer como dogmático. He intentado deducir y expresar sencillamente el mayor número posible de pautas de la investigación y de este modo confrontar al estudiante con algunas opiniones específicas. Es preferible que el lector no acepte mis puntos de vista, sino que los vea como sugerencias que se someten a su consideración.

La investigación es una de esas actividades altamente complejas y sutiles que, por lo general, se mantienen sin definir en la mente de quienes la practican. Probablemente es debido a esto, que la mayoría de los científicos no consideran posible impartir ningún tipo de instrucción formal acerca de la investigación. Admito que el adiestramiento en la investigación es, en gran parte, un problema de autoadiestramiento, preferiblemente con la ayuda de algún científico experimentado en la investigación. Creo, sin embargo, que pueden aprenderse lecciones y principios generales a partir de las experiencias de otras personas. Tal como dice el viejo adagio, "el sabio aprende de la experiencia de los demás, el tonto, de las propias". Es indudable que cualquier adiestramiento, consiste en algo más que el simple recibir instrucciones. Se requiere práctica, para aprender a poner los preceptos en marcha y para desarrollar el hábito de utilizarlos, pero es de alguna ayuda conocer cuáles habilidades se deben adquirir. Muy a menudo, sólo he sido capaz de indicar simplemente las dificultades que pueden encontrarse (dificultades que todos debemos encarar y resolver de la mejor manera al presentarse la ocasión). Pero aun el solo hecho de estar prevenido es a menudo una ayuda.

La investigación científica, la cual es simplemente la búsqueda de nuevos conocimientos, atrae especialmente a los individualistas y sus métodos varían de una persona a otra. Una línea de conducta seguida por un científico puede no ser apropiada para otro y del mismo modo diferentes ramas científicas requieren métodos diferentes. Sin embargo, existen algunos principios y técnicas mentales básicas utilizadas comúnmente en la mayoría de los diversos tipos de investigación, al menos en lo que a la esfera biológica se refiere. Claude Bernard, el gran fisiólogo francés decía:

"Los buenos métodos pueden enseñarnos a desarrollar y hacer mejor uso de aquellas facultades con las cuales nos ha dotado la naturaleza, mientras que los métodos malos pueden impedir que aprovechemos bien estas mismas facultades. De este modo, el genio de la invención, que es de tanto valor en la ciencia, puede ser disminuido y aun abogado al utilizar malos métodos, mientras que, por el contrario, un buen método puede ayudar a aumentarlo... El papel que desarrolla la metodología en las ciencias biológicas, es aún más importante que en las otras ciencias, debido a la complejidad de los fenómenos y a las innumerables fuentes de error".<sup>35</sup>

Aquel raro genio, que posea disposición innata para la investigación, no se beneficiará con instrucciones acerca de los métodos utilizados en la misma, pero la mayoría de los candidatos a investigadores no son genios y para ellos es de gran ayuda contar con algo que les guíe en el camino de la investigación, y de esta manera no perder tiempo aprendiendo estos principios mediante el dispendioso expediente de la experiencia personal.

Un científico bien conocido, me dijo una vez que a él le gustaba dejar solos a sus estudiantes durante algún tiempo, a objeto de darles la oportunidad de que ellos



mismos encontraran su propio camino. Este curso de acción puede tener sus ventajas cuando se trata de efectuar la escogencia sobre la base del principio de nadar o ahogarse, pero en la actualidad existen mejores métodos para enseñar a nadar que el simplista y primitivo de arrojar el niño al agua.

Existe la opinión, ampliamente compartida de que el poder de la originalidad de una persona comienza a declinar a una temprana edad. Si se deja que el científico encuentre su camino por sí mismo, se corre el riesgo de que pierda los años más productivos de su vida tratando de aprender a investigar y tal vez ni siquiera llegue a alcanzarlo. Por consiguiente, si es posible reducir este período de prueba improductivo, mediante la instrucción en métodos de investigación, no sólo se economizaría el tiempo de adiestramiento, sino, más aún, el investigador comenzará a producir mucho antes que si hubiera utilizado el lento método de la experiencia personal. Esto es sólo una conjetura, pero su importancia potencial, la hace digna de consideración. Otro factor considerable es el riesgo de que la enorme educación formal que se considera necesaria para la formación del científico, pueda ir en detrimento de sus años más productivos.

Probablemente, es inevitable que cualquier libro que intente tratar un tema tan amplio y complejo tenga muchos defectos. Espero que las deficiencias de este libro, incite a otras personas, dotadas de mayor experiencia que la mía, a escribir sobre el mismo tópico, y de este modo construir un conjunto de conocimientos organizados, superior al que se encuentra en la literatura actual. Tal vez he sido un poco temerario al inmiscuirme en los aspectos psicológicos de la investigación sin tener ningún adiestramiento previo en psicología, pero me ha animado el pensar que tanto peligro corre de errar un biólogo que se aventure en la psicología, como un psicólogo o un

dialéctico que escriba acerca de la investigación biológica. La mayoría de los libros sobre métodos científicos tratan de esta materia desde el aspecto lógico o filosófico. Este libro se interesa más en la psicología y la práctica de la investigación.

Me ha sido difícil arreglar en una secuencia lógica los diversos tópicos que se discuten. El orden de los capítulos que tratan de la casualidad, hipótesis, imaginación, intuición, razón y observación, es bastante arbitrario. El procedimiento de una investigación se compendia en la sección segunda del Capítulo N° 1. Se han coleccionado anécdotas que muestran cómo se han efectuado algunos descubrimientos, porque ellas pueden ser útiles para aquellos que estudian los modos cómo el conocimiento avanza. Cada anécdota se cita en aquella parte del libro donde se considera más apropiada para ilustrar un aspecto particular de la investigación, pero a menudo su interés no se limita a servir de ejemplo a un solo punto. En el apéndice se citan otras anécdotas. Pido excusas por utilizar en diversos lugares mi propia experiencia como fuente de información íntima.

Sinceramente quiero agradecer a mis amigos y colegas la deuda que con ellos tengo por sus útiles sugerencias, críticas y referencias. Las siguientes personas: Dr. M. Abercrombie, Dr. C. H. Andrewes, sir Frederic Bartlett, Dr. G. K. Batchelor, Dr. A. J. Crombie, Dr. T. K. Ewer, Dr. G. S. Graham-Smith, Mr. G. C. Grindley, Mr. H. Lloyd Jones, Dr. G. Lepage, sir Charles Martin, Dr. I. Macdonald, Dr. G. L. McClymont, Dr. Marjory Stephenson y el Dr. D. H. Wilkinson, leyeron gentilmente una copia original del libro y me ayudaron, comunicándome sus impresiones. Sin embargo, ello no implica que estos científicos estén de acuerdo con los puntos de vista expresados en el libro.

## PREFACIO DE LA SEGUNDA EDICION

*Es muy satisfactorio poder añadir ahora que los métodos de investigación esquematizados en este libro, han recibido respaldo de un número considerable de científicos, tanto en revisiones como en comunicaciones personales. Todavía no he encontrado ningún desacuerdo importante con los principios fundamentales. Por consiguiente, es posible ahora ofrecer este libro con mayor confianza.*

*Estoy profundamente agradecido a todos aquellos que me han escrito estimulándome, algunas veces confirmando los puntos de vista expresados en el libro, otras veces llamando mi atención hacia pequeños errores. Las alteraciones introducidas en esta segunda edición son en su mayoría revisiones menores, pero el Capítulo sobre la Razón ha sido, en gran parte, escrito de nuevo.*

W. I. B. B.

*Cambridge, julio de 1953.*

## PREFACIO DE LA TERCERA EDICION

*Esta edición difiere poco de la anterior. Se ha aprovechado la oportunidad para efectuar algunas pequeñas modificaciones, y se añadió al apéndice dos buenas historias que ilustran el papel de la Casualidad.*

W. I. B. B.

*Cambridge, septiembre de 1957.*

## Capítulo N° 1

### PREPARACION

*El lisiado que persevera aventaja en el camino al sano distraído.*

FRANCIS BACON

### ESTUDIO

A través de toda su vida, el investigador es siempre un estudiante. El prepararse para su trabajo nunca termina, porque tiene que mantenerse al día con el continuo crecimiento de los conocimientos. Esto lo logra, principalmente, mediante la lectura de publicaciones científicas. Así como ocurre con la lectura de los periódicos, el estudio se convierte en hábito hasta formar una parte regular de la vida del científico.

La edición de 1952 de la *World List of Scientific Periodicals*, incluye no menos de cincuenta mil publicaciones. Un simple cálculo demuestra que esto equivale probablemente a dos millones de artículos por año o cuarenta mil semanales, lo cual revela la extrema imposibilidad de mantenerse al día cuando más con una pequeña fracción de la literatura pertinente al interés del investigador. La mayoría de los investigadores tratan usualmente de ver, o cuando menos leer por encima, los títulos de los artículos en veinte o cuarenta publicaciones. Del mismo modo que con el periódico, ellos leen a la ligera la mayoría del material, dedicando su atención com-

pleta sólo a aquellos artículos que puedan ser de algún interés.

Sería aconsejable para el principiante preguntar a un investigador experimentado cuáles son las publicaciones más importantes en su campo. Los resúmenes son de valor limitado, aunque sólo fuera por el hecho de que por necesidad aparecen con considerable retardo con respecto de las publicaciones originales. Sin embargo, permiten al investigador cubrir un amplio campo de la literatura científica y son de gran valor para aquellas personas que no tienen acceso a un gran número de publicaciones. Los estudiantes sobre todo necesitan quien los guíe en la búsqueda de referencias a través de publicaciones y catálogos, y en el modo de utilizar las bibliotecas. Es común estudiar detenidamente aquella bibliografía relacionada con el problema particular en el cual se vaya a trabajar; sin embargo, aunque pueda parecer sorprendente, algunos científicos no consideran esta costumbre aconsejable. Ellos mantienen que el tratar de leer lo que otros han escrito sobre el problema condiciona la mente de una manera tal, que hace más difícil encontrar soluciones nuevas y provechosas. Aún más, existen algunas objeciones a leer en exceso sobre el campo general de la ciencia en el cual se vaya a trabajar. Charles Kettering, quien estuvo asociado en el descubrimiento del tetraetilo de plomo, como un agente de antichoque en motores de explosión, decía que al dedicarse solamente al estudio de los textos convencionales, se corría el riesgo de caer en un camino trillado del cual costaba tanto trabajo escapar como resolver el problema. Muchos investigadores de éxito no estaban entrenados en la rama de la ciencia en la cual hicieron sus descubrimientos más brillantes: Pasteur, Metschnikoff y Galvani son ejemplos bien conocidos. Un criador de ovejas de nombre J. H. W. Mules, quien no poseía ningún entrenamiento científico, descubrió los medios

de prevenir los ataques del moscardón en Australia, cuando muchos científicos habían fracasado. Bessemer, el descubridor del método de producir acero a bajo precio, dijo:

"Yo tuve una gran ventaja sobre todos los otros que trataban con el mismo problema, porque no tenía idea fija derivada de prácticas establecidas, las cuales pudieran controlar y desviar mi mente y no sufría, por consiguiente, de la creencia popular de que cualquier cosa que es, es correcta".

En este caso, como en tantos otros que tienen que hacer con personas ajenas a la ciencia, la ignorancia y la libertad de los patrones de pensamiento establecidos en un campo, se unen con el conocimiento y entrenamiento en otro campo. En el mismo sentido, es la expresión de Bernard de que "lo que conocemos es nuestro mayor obstáculo para aprender lo que no conocemos". Este dilema lo confrontan todas las mentes creadoras. Byron escribió:

"Para ser perfectamente original uno debe pensar mucho y leer poco y esto es imposible, porque uno debe haber leído antes de aprender a pensar".

La expresión de Bernard Shaw de que "la lectura pudre la mente", no es tan ridícula como parece a primera vista. La explicación de este fenómeno podría ser como sigue. Cuando una mente recargada con excesiva información contempla cualquier problema, la información relevante se presenta al punto focal del pensamiento y si es suficiente para el problema en cuestión, se puede obtener una solución. Pero si no lo es, lo cual es común en investigación, entonces ese gran cúmulo de información dificulta la captación de ideas originales a la mente, por razones que discutiremos más adelante. Más aún, alguna de esa información puede ser falsa, en cuyo caso se presenta una barrera aún más seria para las ideas nuevas y productivas.

Así en aquellas materias en las cuales el conocimiento se va renovando continuamente, o donde se presenta un



nuevo problema, o exista una moderna versión de un otro que ya ha sido resuelto el experto tiene toda la ventaja, pero donde no existe ningún aporte nuevo de conocimiento y el campo ha sido ya completamente trabajado, se requiere un enfoque revolucionario y es más probable que éste venga de alguien que no haya tenido familiaridad con el problema. El escepticismo con el cual los expertos casi siempre acogen a las ideas revolucionarias, confirma el hecho de que el conocimiento que se tenía fue una desventaja.

La mejor forma de enfrentarse a este dilema es mediante la lectura crítica, tratando de mantener independencia mental y evitando el convencionalismo. El exceso de lectura puede ser una desventaja, principalmente para aquellas personas que tienen una incorrecta actitud mental. Tanto la originalidad como la perspectiva de la visión, no sufre necesariamente si la lectura se usa como un estímulo del pensamiento y si el científico al mismo tiempo está dedicado a una investigación activa. De cualquier modo, la mayoría de los científicos considera que es una desventaja mucho más sería investigar cualquier problema cuando se ignora lo que se conoce ya acerca del mismo.

Uno de los errores comunes de los científicos jóvenes que comienzan en la investigación, es que creen todo lo que leen, no distinguen entre los resultados de los experimentos que se exponen y la interpretación que el autor les da. Francis Bacon decía:

"Leed, no para contradecir o refutar ni para creer o aceptarlo como seguro... sino para sopesarlo y considerarlo".<sup>7</sup>

El hombre que posee una visión correcta para la investigación, desarrolla el hábito de correlacionar lo que lee con su conocimiento y experiencia, buscando siempre analogías y generalizaciones significantes. Este método de

estudio es una de las maneras mediante las cuales se desarrollan las hipótesis; por ejemplo, fue este el modo como la idea de la sobrevivencia de los más aptos en la evolución se le ocurrió a Darwin y a Wallace.

Casi siempre los buenos científicos han sido personas de intereses variados. Su originalidad puede haberse derivado de la diversificación de sus conocimientos. Como veremos en el Capítulo sobre la Imaginación, la originalidad a menudo consiste en la unión de ideas cuyas conexiones no habían sido previamente sospechadas. Más aún, la variedad estimula nuevos horizontes, mientras el estudio constante de un campo estrecho predispone a la rutina. Por consiguiente, la lectura no debe confinarse al problema que se investiga, ni siquiera a nuestro propio campo científico, menos aún a la ciencia solamente. Sin embargo, a objeto de economizar el tiempo dedicado a la lectura de materias fuera de nuestro campo inmediato de interés, uno puede leer sumarios y revisiones, y de este modo conservarse al día con los descubrimientos o los desarrollos más importantes. A menos que el investigador cultive amplios intereses, su conocimiento puede irse estrechando paulatinamente hasta restringirse sólo a su especialidad. Una de las ventajas de la docencia es que obliga al científico a mantenerse al día en campos más amplios. Es mucho más importante tener una comprensión clara de los principios generales sin pensar en ellos como leyes fijas que recargar la mente con toda una masa de información técnica detallada, la cual puede encontrarse en un libro de referencia o en cualquier *index*. Para el pensar creativo es mucho más importante ver el bosque que los árboles; el estudiante está en peligro de ver solamente los árboles. El científico con una mente madura que ha reflexionado bastante sobre materia científica, ha tenido tiempo, no sólo para acumular detalles técnicos, sino que también ha adquirido suficiente perspectiva para ver el por qué.

Nada de lo que se ha dicho anteriormente, debe ser interpretado como desprecio a la importancia de adquirir firmes bases en las ciencias fundamentales. El valor derivado de la lectura superficial sobre un amplio campo, depende de la preparación básica que tenga el lector la cual lo capacita para evaluar el verdadero mérito de cualquier trabajo nuevo y para extraer cualquier indicación valiosa. Hay mucho de cierto en el dicho de que en la ciencia, la mente del adulto puede construir sólo tan alto como soporte las bases que se construyeron en la juventud. Es de gran utilidad desarrollar el hábito de leer al vuelo. Este tipo de lectura, cuando se efectúa correctamente, permite cubrir una gran cantidad de material con economía de tiempo y seleccionar aquellas partes que son de interés especial. Algunos estilos de escritura se prestan más que otros para esta práctica. No debe tratarse de leer superficialmente ningún trabajo al cual se intente hacer objeto de estudio cuidadoso.

La mayoría de los científicos encuentran muy útil conservar un tarjetero con resumen de los artículos de interés especial para su trabajo. También la preparación de estos resúmenes ayuda a imprimir en la memoria los puntos principales del artículo. Después de una lectura rápida en la cual se obtenga una idea general, uno puede releer ciertas partes cuya significación total es entonces aparente, y tomar las notas necesarias.

El recién graduado, durante su primer año a menudo estudia algunas materias adicionales, con el objeto de prepararse mejor para la investigación. Ha sido común en el pasado, en los países de lengua inglesa, el estudio del alemán, si no se tenía conocimiento previo de este idioma y si se había aprendido francés en la escuela. Yo pienso que los estudiantes de Ciencias Biológicas se beneficiarían más de un curso de Biometría, la importancia del cual se discutirá en el próximo capítulo. En el pasa-

do fue importante leer alemán, pero la contribución de Alemania en las Ciencias Médicas y Biológicas ha sido muy pequeña durante los últimos diez años, y no parece probable que aumente en los años venideros. Muchos científicos de otros países, tales como Escandinavia y Japón, quienes previamente publicaban muy a menudo en el idioma alemán, publican ahora casi por completo en inglés, el cual con el gran crecimiento de la ciencia en América, lo mismo que en toda la comunidad británica, se está convirtiendo en el idioma científico internacional. A menos que el estudiante de Biología tenga una razón muy especial para desear aprender el alemán, pienso que podría emplear su tiempo más útilmente en otras materias, hasta que la ciencia alemana reviva propiamente. A este respecto, puede ser interesante destacar el punto de vista poco común expresado por el gran químico alemán Wilhelm Ostwald, quien mantenía que el estudiante de investigación debería abstenerse de aprender idiomas. Consideraba que la enseñanza convencional del latín en particular, destruía la perspectiva científica.<sup>67</sup> Herbert Spencer también hizo notar que el aprendizaje de los idiomas tiende a aumentar el respeto por la autoridad y, de este modo, disminuir el desarrollo de la facultad de juicio independiente, el cual es muy importante, especialmente para los científicos. Varios científicos famosos, incluyendo entre ellos a Darwin y Einstein, tenían una fuerte adhesión por el latín, probablemente porque sus mentes independientes se rebelaban contra el desarrollo del hábito de la autoridad aceptada, en lugar de la búsqueda de la evidencia.

Los puntos de vista expresados en el párrafo precedente, sobre el posible efecto dañino del aprendizaje de los idiomas, no son aceptados por completo. Sin embargo, existe otra consideración que debe ser tomada en cuenta al decidir cuándo se debe o no estudiar un idioma

o cualquiera otra materia, y es que el tiempo o esfuerzo que se gaste al estudiar estas materias que no son de gran valor, se pierde para dedicárselo al estudio de otras, con las cuales el científico de mente activa se encara constantemente; es lo que podríamos llamar el problema de los intereses competitivos: el científico raramente tiene suficiente tiempo para hacer todo lo que querría y debería hacer y, por lo tanto, debe decidir, qué es aquello que puede descuidar. Bacon decía que nosotros debemos determinar el valor relativo de los conocimientos. Cajal se oponía a la creencia popular de que todo conocimiento es útil; por el contrario, él opinaba que el aprendizaje de tópicos indiscriminados ocupa tiempo precioso y tal vez espacio mental.<sup>110</sup> Sin embargo, no es mi deseo inferir que las materias deben ser juzgadas sobre una base puramente utilitaria. Es lamentable, que nosotros los científicos tengamos tan poco tiempo para dedicarlo a la literatura general.

Si el estudiante no puede asistir a un curso en Biometría, puede estudiar cualquiera de los libros o artículos de más fácil comprensión sobre esta materia. Los que yo creo más apropiados son aquellos de G. W. Snedecor,<sup>87</sup> el cual trata de la aplicación de la estadística a la experimentación animal y en plantas, y el de A. Bradford Hill,<sup>116</sup> relacionado principalmente con estadística en Medicina humana. El libro de Bacteriología de Topley y Wilson, contiene un buen capítulo de la aplicación de la Biometría en Bacteriología.<sup>91</sup> Los dos libros del profesor R. A. Fisher son trabajos clásicos, pero algunas personas creen que son muy difíciles para un principiante.<sup>39,40</sup> No es necesario que el biólogo se convierta en un experto en Biometría si no le gusta la materia, pero, sin embargo, debe conocer lo suficiente acerca de ella, como para evitar cualquier negligencia indebida o un excesivo respeto por la misma, y saber cuándo debe consultar a un especialis-

ta en Biometría. Otro punto al cual el joven científico debe prestar atención, es a la técnica y arte de redactar trabajos científicos. La calidad general del inglés en los trabajos científicos no es muy elevada y pocos de nosotros están exentos de crítica en esta materia. La crítica no es tanto contra la falta de elegancia del inglés, como contra la falta de claridad y precisión. La importancia del uso correcto del idioma radica no solamente en la capacidad para transmitir en buenos términos el trabajo efectuado, sino en el hecho de que es con el idioma con lo que efectuamos la mayor parte de nuestro pensamiento. Existen varios libros y artículos sobre la manera de escribir publicaciones científicas. Trelease,<sup>98</sup> trata principalmente de la parte técnica de la escritura y de la edición, Kapp<sup>65</sup> y Allbut,<sup>1</sup> se preocupan más que todo por la apropiada redacción del inglés. Anderson<sup>2</sup> publicó un buen trabajo sobre la preparación de ilustraciones y tablas para los artículos científicos. Yo he encontrado que se puede obtener experiencia muy útil escribiendo resúmenes para la publicación. Mediante ellos, uno se familiariza con las peores faltas que surgen al escribir trabajos científicos y al mismo tiempo se acostumbra a la saludable disciplina de escribir concisamente.

La vida del científico se enriquece y profundiza, mediante la lectura de la vida y trabajos de algunos de los grandes hombres de ciencia. La inspiración derivada de esta fuente ha dado a múltiples jóvenes científicos una visión que han mantenido a través de todas sus vidas. Yo recomiendo dos excelentes biografías: *Louis Pasteur: Freelance of Science*, por Dubos,<sup>112</sup> y *Paul Erlich*, por Marquardt.<sup>113</sup> En los últimos años se está prestando más y más atención al estudio de la historia de la ciencia y cada científico debería tener al menos algún conocimiento sobre esta materia. Ello provee un correctivo excelente al continuo aumento de la especialización y amplía nuestra

visión y nuestra manera de entender la ciencia. Existen algunos libros, los cuales tratan esta materia no como una simple crónica de evento, sino con cierta profundidad, la cual da una apreciación del crecimiento del conocimiento como un proceso evolutivo.<sup>20,25</sup>

Del mismo modo, existe una amplia literatura, la cual trata de la Filosofía de la Ciencia y la Lógica del Método Científico. El que se tome o no este tipo de estudio, depende de las inclinaciones personales, pero, hablando de una manera general, es de poca ayuda en el trabajo de investigación.

Es una buena experiencia para el joven investigador asistir a las conferencias científicas. Puede observar en esas ocasiones cómo las contribuciones al conocimiento se llevan a cabo mediante adiciones al trabajo de otras personas, cómo y sobre cuáles bases se critican las publicaciones, y al mismo tiempo, aprender algo de las personalidades de quienes trabajan en su mismo campo. Añade considerable interés a la investigación el conocer personalmente a los autores de los trabajos que uno lee o aún conocerlos aunque sea de vista. Las conferencias también contribuyen a demostrar lo que podríamos llamar la democracia de la ciencia y la ausencia de cualquier autoritarismo, porque allí, aun los miembros de mayor trayectoria científica son tan propensos a ser criticados como cualquier otro. Debe aprovechar cualquier oportunidad que se presente para asistir a conferencias que sean dictadas por científicos eminentes, pues ellas pueden ser a menudo una fuente muy rica de inspiración. Por ejemplo, F. M. Burnet<sup>19</sup> decía en 1944 que él había asistido a una conferencia dictada por el profesor Orme Masson en 1920, en la cual se mostraba con suprema claridad tanto el progreso futuro en la física atómica como el placer intrínseco que se encontraba en una nueva comprensión de las cosas, Burnet decía

que aunque había olvidado la mayor parte de esta conferencia nunca olvidó el estímulo que la misma le causó.

#### TRABAJO PRELIMINAR

Al comenzar una investigación cualquiera, es obvio que lo primero que debe decidirse es lo que se va a investigar. A este respecto, aun cuando por lo general es necesario consultar con un investigador de amplia experiencia, existirán mayores posibilidades de obtener buenos resultados en su trabajo, si el estudiante es responsable de su propia elección, porque en este caso el problema será algo en lo cual esté interesado directamente, sentirá que todo él le pertenece y le dedicará mayor atención porque la responsabilidad total descansará en él mismo. Sin embargo, sería preferible que el estudiante escogiera como materia de investigación algo dentro del campo que está siendo investigado por los científicos más antiguos de su laboratorio. De este modo será capaz de beneficiarse de la guía y el interés que éstos le demuestren y al mismo tiempo, su propio trabajo aumentará la comprensión de lo que los otros están haciendo. Sin embargo, si un científico se ve obligado a trabajar en un problema determinado, como es frecuentemente el caso en investigación aplicada, puede encontrar muy a menudo aspectos de verdadero interés, si le dedica verdadera atención al mismo. Puede decirse que la mayoría de los problemas son lo que el investigador hace de ellos. Theobald Smith, el gran bacteriólogo norteamericano decía que él siempre encaraba el problema que tenía más a mano, debido principalmente a la facilidad de conseguir el material, sin el cual cualquier investigación es muy difícil.<sup>86</sup> El estudiante que posea verdadero talento para la investigación no tiene, por lo general, dificultad en encontrar problemas apropiados. Si durante el curso de sus estudios, no ha notado inconsistencias o

fallas en los conocimientos o no ha desarrollado alguna idea propia, entonces su futuro como investigador científico no es promisorio. Es lo mejor para el estudiante investigador, tratar de comenzar con un problema en el que exista bastante oportunidad de conseguir algo y el cual, por supuesto, no esté más allá de su capacidad técnica. El éxito es un estímulo tremendo y ayuda al progreso posterior; por el contrario, las frustraciones continuas pueden tener efecto opuesto.

Después que se ha seleccionado el problema, el próximo paso será inquirir cuáles investigaciones se han llevado a cabo sobre el mismo. Los libros de texto o, mejor, los trabajos publicados en revistas de reciente aparición, son muy a menudo útiles como punto de partida, porque ellos presentan un resumen balanceado de lo conocido hasta ese momento y proveen también las referencias principales. Un libro de texto, sin embargo, es solo una compilación de ciertos hechos e hipótesis seleccionados por el autor como lo más significantes cuando se escribió el libro, omitiendo algunas fallas y discrepancias, de tal modo que se presente un cuadro coherente. Por lo tanto, siempre es preferible consultar los artículos originales. En cada artículo consultado, existen a su vez referencias a otros artículos y de este modo el camino prosigue hasta cubrir por completo la literatura sobre el sujeto escogido. Algunas publicaciones como *The Quarterly Cumulative Index Medicus*, *Zoological Record*, *Index Veterinarius* y *Bibliography of Agriculture* son muy útiles, porque proveen un sumario o resumen anual de cualquier materia dentro de las especializaciones contempladas. Al llegar a esta etapa, es de gran ayuda discutir el problema con otros investigadores que estén trabajando activamente. Al comenzar una investigación, es aconsejable llevar a cabo un estudio completo de toda la literatura relevante; de otro modo, tal vez podría desperdiciarse mucho esfuerzo por dejar de

leer aunque fuera un solo artículo de verdadera significación. También, durante el curso de la investigación, mientras se está pendiente de nuevos artículos sobre el problema en cuestión, es muy útil leer superficialmente en campos más amplios, estando siempre alerta a la aparición de algún nuevo principio o técnica la cual se pueda utilizar.

Quando se investigan enfermedades infecciosas, el próximo paso es tratar de recolectar la mayor cantidad de datos posibles en la misma localidad en la cual ocurre el problema. Por ejemplo, si se investiga una enfermedad animal, el procedimiento más común es llevar a cabo observaciones de campo y encuestas personales entre los campesinos. El seguir este prerrequisito, evita el que ocasionalmente se lleven a cabo trabajos de laboratorio que tengan poca relación con el problema que se investiga. Exámenes apropiados de laboratorios se llevan a cabo usualmente como un complemento al trabajo de campo.

Los campesinos y la mayoría de las personas, acomodan la evidencia a sus creencias. Aquellas personas cuyas mentes no están disciplinadas mediante entrenamiento apropiado, tienden muy a menudo a recordar eventos que apoyan sus puntos de vista y a olvidar aquellos que se les oponen. Por lo tanto, las encuestas deben ser llevadas a cabo con mucho tacto, de modo que se puedan separar sus interpretaciones de sus observaciones. La paciencia empleada al efectuar estas encuestas, se cobra con creces, porque los campesinos tienen muchas oportunidades de reunir informaciones. Por ejemplo, el importante descubrimiento de que los hurones eran susceptibles al moquillo canino, proviene de la observación de un guardabosque. Aunque su aserción no fue tomada en serio al principio por los científicos, éstos decidieron, afortunadamente, comprobar si había algo de cierto en ella.

Se dice que durante dos mil años, los campesinos de Italia tenían la creencia de que los mosquitos tenían algo que hacer con la propagación de la malaria, pero fue solamente hasta hace más o menos sesenta años, cuando este hecho fue establecido mediante la investigación científica.

Al alcanzar esta etapa, debe tratarse de ordenar y correlacionar todos los datos y tratar de definir el problema. Por ejemplo, cuando se investiga una enfermedad, uno debe tratar de definirla decidiendo cuáles son sus manifestaciones y de este modo distinguirla de cualquier otra condición con la cual pueda ser confundida. Hughlings Jackson ha dicho: "El estudio de las causas de las cosas debe ser precedido por el estudio de las cosas causadas". Para demostrar la necesidad de este paso, existe el clásico ejemplo de Noguchi, quien aisló una espiroqueta de casos de ictericia por *leptospira* y la reportó como la causante de la fiebre amarilla. Este error, muy comprensible por otra parte, retardó las investigaciones sobre la fiebre amarilla. Sin embargo, el rumor de que esto llevó al suicidio a Noguchi no tiene base. Casos menos serios no son infrecuentes.

El investigador se encuentra ahora en el momento de dividir el problema en varias preguntas y comenzar el ataque experimental. Durante la etapa de preparación, su mente no ha estado en actitud pasiva de simple absorción de datos, sino, mejor aún, tratando de observar fallas en el conocimiento obtenido; diferencias entre los informes de distintos escritores; contradicciones entre los aspectos observados y los reportes previos; analogías con problemas relacionados y cualquier tipo de datos que haya obtenido durante su observación de campo. El investigador con iniciativa, usualmente encuentra mucho campo para formular hipótesis que traten de explicar alguna infor-

mación obtenida. A partir de estas hipótesis, pueden probarse o desaprobarse algunas consecuencias, bien sea por experimentación o mediante la recolección de mayor cantidad de datos de observación. Después que haya digerido el problema en su mente, el investigador decidirá efectuar aquel experimento que vaya a darle la mayor cantidad de información, y el cual esté dentro de los límites de su capacidad técnica y los recursos de los cuales dispone. A menudo es aconsejable comenzar con varios aspectos del problema al mismo tiempo. Sin embargo, no se deben dispersar los esfuerzos en un frente muy amplio; y tan pronto como se encuentre algo de valor, es mejor concentrarse en ese aspecto del trabajo.

El éxito de un experimento, lo mismo que en la mayoría de las empresas, depende grandemente del cuidado de los preparativos preliminares. Los experimentadores más efectivos son, por lo general, aquellos que piensan constantemente acerca del problema que le interesa, lo descomponen en preguntas cruciales y por último dedican bastante tiempo a diseñar los experimentos que contesten a estas preguntas. Se considera un experimento crucial, cuando sus resultados son consistentes con una hipótesis y opuestos a otra. Hans Zinsser, refiriéndose al gran bacteriólogo francés Charles Nicolle, decía:

"Nicolle, fue uno de esos hombres que logra sus éxitos mediante el procedimiento de pensar con anterioridad a la formulación de un experimento, evitando actividades experimentales frenéticas y mal concebidas, que a menudo hacen aparecer a hombres de menor calibre en una constante agitación parecida a la de las hormigas. En efecto, a menudo cuando observo la cantidad de literatura pseudocientífica producida por ciertos laboratorios, he pensado en las hormigas. Los experimentos de Nicolle relativamente eran pocos y simples; pero cada vez que efectuaba uno, éste era el

resultado de largas horas de incubación mental durante las cuales, todas las variantes posibles habían sido consideradas y sopesadas para las pruebas finales. Después de esto se iba directo al punto, sin gasto inútil de movimiento.

Este fue el método de Pasteur y de otros grandes hombres, cuyos experimentos, simples y concluyentes, causan regocijo a aquellos capaces de apreciarlo".<sup>108</sup>

El gran fisiólogo de Cambridge sir Joseph Barcroft, poseía la habilidad de reducir un problema a sus más simples elementos y encontrar la respuesta por el método más directo.

El punto de la planificación de las investigaciones se discute en el capítulo referente a Táctica .

#### SUMARIO

Una de las obligaciones del investigador es la de mantenerse al día con la literatura científica, pero ésta debe leerse con una actitud mental crítica y reflexiva, si se quiere conservar la originalidad y pureza de las perspectivas. No es suficiente acumular información como una especie de inversión de capital.

Si el científico escoge su propio problema tiende a efectuar un mejor trabajo; sin embargo, se aconseja al principiante comenzar con un problema no muy difícil y en el cual pueda contar con los consejos de un experto.

La siguiente secuencia es lógica en las investigaciones médicas o biológicas: a) Revisar críticamente la literatura pertinente; b) Obtener información mediante encuestas, trabajo de campo y, si es necesario, mediante exámenes de especímenes en el laboratorio; c) Ordenar y correlacionar la información obtenida y luego definir y

descomponer el problema en preguntas específicas; d) Elaborar conjeturas inteligentes para contestar las preguntas, creando tantas hipótesis como sea posible considerar, y e) Diseñar experimentos para comprobar la hipótesis más probable que haya sido elaborada sobre las preguntas más cruciales.



## EXPERIMENTACION

*El experimento tiene dos propósitos, a menudo independientes el uno del otro: permite la observación de nuevos hechos hasta entonces insospechados o aún no bien definidos; y determina si una hipótesis de trabajo se ajusta al mundo de hechos observables.*

RENÉ J. DUBOS

### EXPERIMENTOS BIOLOGICOS

La ciencia, tal como la conocemos hoy en día, comenzó con la introducción del método experimental durante el Renacimiento. Sin embargo, aun cuando la experimentación es importante en la mayoría de los campos científicos, no es apropiada a todos los tipos de investigación. Por ejemplo, no se utiliza en Biología descriptiva, en Biología observacional, o en la mayoría de las formas de investigación clínica en Medicina. Sin embargo, este último tipo de investigación también utiliza los mismos principios. La diferencia principal consiste en que, en esta clase de investigación, las hipótesis se comprueban mediante la recolección de información de fenómenos naturales, en lugar de aquellas obtenidas en condiciones experimentales. Al escribir la última parte del capítulo precedente y la primera parte del presente, he pensado principalmente en el experimentador, a pesar de lo cual pueden encontrarse en ellos algunos puntos de interés para el investigador no experimental.



Básicamente, un experimento consiste en tratar de reproducir un evento bajo condiciones conocidas, de las cuales se han eliminado, en lo posible, todas las influencias extrañas, permitiendo efectuar observaciones precisas que pongan de manifiesto la relación existente entre los fenómenos resultantes.

En la experimentación biológica, el concepto del "experimento controlado" es uno de los más importantes. En este tipo de experimento, se escogen dos o más grupos similares (idénticos en todo, menos en la variabilidad inherente a todo material biológico), uno de ellos, el grupo control, se mantiene como el *standard* de comparación, mientras que el otro, el grupo de "prueba", se somete a los procedimientos cuyos efectos se desean observar. Por lo general, cada grupo se elabora al azar, es decir, escogiéndose los individuos para cada grupo en alguna forma que elimine el factor discriminante humano. El método tradicional de experimentación, consiste en tratar de obtener grupos tan parecidos como sea posible en todos los detalles, excepto en aquella variable que se trata de investigar. "Variar una cosa a un tiempo y anotar todo lo que se hace, es un principio muy útil, especialmente en la experimentación animal; sin embargo, mediante la ayuda de los métodos estadísticos modernos, es posible desarrollar experimentos para tratar de comprobar cierto número de variables al mismo tiempo.

Antes de comenzar cualquier investigación, debe efectuarse un experimento decisivo para determinar si la hipótesis básica es verdadera. Después de hecho esto pueden comprobarse los detalles. Es aconsejable verificar el todo antes que las partes. Por ejemplo, antes de tratar de provocar una enfermedad con una bacteria determinada es mejor intentarlo con el tejido enfermo. Antes de comprobar la toxicidad, antigenicidad o cualquier otro efecto de las fracciones de un compuesto químico, es preferible

ensayar primero el extracto crudo. Otra aplicación del mismo principio consiste en tratar de determinar el efecto de algún factor cuantitativo, en cuyo caso es aconsejable verificar desde el principio si se produce algún efecto bajo condiciones extremas, p. ej.: con una dosis masiva. Aunque este principio parezca simple y hasta obvio, frecuentemente se pasa por alto, con la consiguiente pérdida de tiempo.

Otro principio que envuelve un proceso similar es aquel de la "eliminación sistemática". El juego, en el cual se pregunta si algo es "animal", "vegetal" o "mineral", es un buen ejemplo para explicar este tipo de proceso.

A menudo es posible encontrar una solución más rápida mediante este sistema de eliminación gradual, que tratando de encontrar respuestas directas, pero a ciegas. Este método es de gran valor, cuando se trata de utilizar procedimientos químicos para determinar una sustancia desconocida, pero en la Biología tiene también amplia aplicación. Por ejemplo, cuando se trata de investigar la causa de las enfermedades, se eliminan todas las posibles alternativas hasta concentrarse en un campo específico.

Es una buena idea en Biología comenzar con un experimento preliminar sencillo, no sólo por consideraciones económicas, sino más aún porque no es conveniente comenzar desde el principio con experimentos complicados que intenten contestar todas las preguntas. Es más ventajoso en la investigación ir por partes, ya que muchos de los experimentos requieren modificaciones acordes con los resultados obtenidos en los anteriores.

El tipo de experimento denominado "piloto" es una prueba preliminar, comúnmente empleada cuando se trata con animales domésticos o personas. Por lo general es un experimento en el cual se trata de determinar en pequeña escala la conveniencia de llevar a cabo el mismo

en una escala mayor. Otro de tipo de experimento especialmente diseñado para servir de guía al principal es el llamado "experimento de tanteo", como, por ejemplo, en el caso de la titulación *in vivo* de un agente tóxico o infeccioso. En este tipo de ensayos se utilizarían diluciones espaciadas (por ejemplo, al centésimo), y pocos animales para cada dilución (por ejemplo, dos). Al obtener los resultados preliminares, puede entonces planearse el experimento decisivo, en el cual, diluciones más cercanas (por ejemplo, al quinto), y mayor número de animales por dilución (por ejemplo, cinco), serán utilizados. De este modo, se pueden obtener resultados precisos con el menor número de animales.

Existe otro tipo de experimento preliminar, que podríamos llamar de descarte, el cual consiste básicamente en tratar de determinar entre un gran número de sustancias diversas cuál de ellas merece atención especial; por ejemplo, al ensayar agentes terapéuticos.

Cuando una idea cualquiera no esté respaldada por evidencias suficientes que justifiquen experimentación en gran escala, pueden diseñarse experimentos pequeños que traten de proporcionar indicaciones adicionales sobre el valor de la misma.

Al planear este tipo de experimento, debe hacerse de tal modo que sólo tengan significación los resultados obtenidos en una forma determinada; sin embargo, existe siempre un requisito mínimo por debajo del cual es inútil aun intentar este tipo de experimento preliminar. Si el experimento merece la pena de ser llevado a cabo, debe ser diseñado de tal forma que tenga probabilidades de aportar resultados útiles. Los científicos jóvenes caen a menudo en la tentación, debido a impaciencia o falta de recursos, a desarrollar experimentos apresurados o mal planeados, los cuales poseen pocas probabilidades de dar resultados satisfactorios.

El tipo de experimento tentativo inicial, sólo se justifica cuando es preliminar a una experimentación más completa, diseñada para obtener resultados seguros.

Todas y cada uno de las etapas de una investigación deben quedar bien establecidas sin lugar a dudas antes de pasar a las próximas; de otro modo, se corre el riesgo de que el trabajo producido sea de baja o mala calidad.

Esencialmente, todo experimento satisfactorio debe ser reproducible. Frecuentemente, en los experimentos biológicos, este criterio es difícil de satisfacer. Si los resultados de un mismo experimento varían, aun cuando los factores conocidos permanezcan inalterados, eso significa a menudo, que algún factor o factores desconocidos están afectando los resultados. Tales ocurrencias pueden ser afortunadas, ya que la búsqueda del factor desconocido puede traer por resultado algún descubrimiento interesante. Recientemente, me decía un colega: "Las cosas nuevas se encuentran cuando los experimentos fallan"; sin embargo, cuando esto suceda el investigador debe eliminar la posibilidad de algún error técnico, el cual frecuentemente es el culpable de falsos resultados.

Al efectuar cualquier experimento es de gran importancia observar el mayor cuidado con los aspectos esenciales de la técnica.

Mediante la doble capacidad de sobreponerse a las dificultades y prestar cuidadosa atención a los detalles importantes, el iniciador de un nuevo método técnico es capaz de lograr buenos resultados donde otros investigadores, menos familiarizados con el problema o dotados de una menor capacidad, fallan lamentablemente. A este respecto, la frase de Carlyle, de que "el genio es una capacidad infinita para resistir dificultades", es cierta. La elección de la cepa Rawlings del bacilo tífico por sir

Almroth Wright, cuando introdujo la vacunación contra esta enfermedad es un buen ejemplo de lo antes dicho. Sólo recientemente con el descubrimiento de nuevas técnicas, ha sido posible comprobar lo acertado de la escogencia de esta cepa para su empleo en la elaboración de vacunas. Wright la escogió cuidadosamente, guiado por razones que no hubieran sido tomadas en cuenta por la mayoría de las personas. Uno de los grandes bacteriólogos, Theobald Smith, decía, refiriéndose a la investigación:

"La atención que prestemos a las minuciosidades aparentemente poco atractivas, insignificantes o fastidiosas, determinan los resultados".<sup>17</sup>

Sin embargo, debe procederse con espíritu crítico ya que es posible perder tiempo en detalles sin importancia.

Una regla elemental pero importante es la de anotar cuidadosamente todos los detalles del trabajo experimental. Acontece con mucha frecuencia que se tenga que volver sobre algunos detalles, cuya verdadera significación no se comprendió en el momento de efectuar el experimento. Las notas escritas por Louis Pasteur, son un bello ejemplo de protocolo cuidadosamente llevado hasta en sus más mínimos detalles. Esta costumbre, además de proveer una constancia de lo que se hace y observa, ayuda a desarrollar el hábito de la observación cuidadosa.

El experimentador debe poseer un amplio conocimiento de las técnicas que utiliza, saber sus limitaciones y el grado de precisión de las mismas. Es necesario estar familiarizado con las técnicas de laboratorio antes de utilizarlas y de este modo poder obtener resultados verdaderos y consistentes.

Casi todas las técnicas pueden ser fuentes de error y el experimentador debe ser capaz de descubrir rápidamente cualquier inconveniente que resulte de las técnicas utilizadas.

Siempre que sea posible, todas las titulaciones o datos cuantitativos deben ser comprobados utilizando un método adicional. También debe el científico entender los aparatos que emplea. Los complicados aparatos modernos de por sí son a menudo muy convenientes, pero no están hechos a prueba de error y algunos científicos de experiencia tienen la tendencia a evitar su uso tanto como sea posible, por el temor de obtener resultados engañosos.

Con algunos sujetos de experimentación, por ejemplo, seres humanos y animales de gran valor, muy a menudo ocurren dificultades debido a los límites establecidos para las pruebas de control. En estos casos, a menos que se pueda cumplir con los requisitos básicos del experimento controlado, es mejor abandonar la tentativa. Tal enunciado puede parecer autoevidente, pero no es raro el caso de investigadores que al encontrarse ante grandes dificultades transigen con arreglos que son inútiles. Los grupos de control deben ser satisfactorios antes que numerosos. La historia de la vacuna BCG en niños provee un buen ejemplo. Este procedimiento, introducido hace más de veinticinco años, se consideró como una buena protección contra la tuberculosis, pero aunque se han llevado a cabo numerosos experimentos, todavía existen controversias, al menos en lo que a los europeos se refiere, respecto al valor del procedimiento para prevenir la enfermedad, ya que la mayoría de las experiencias no han sido concluyentes, debido a falta de controles adecuados. El profesor G. S. Wilson, en su revisión de la vacunación BCG da una buena lección sobre las dificultades y errores de la experimentación. Según sus conclusiones:

"Estos resultados demuestran cuán importante es, al llevar a cabo investigaciones controladas con humanos, hacer todo lo posible para garantizar que tanto los niños vacunados como los controles sean similares en todos los aspectos, incluyendo factores tales como: edad, sexo, raza,

condiciones sociales, económicas, y de habitación, nivel intelectual y cooperación de los padres, riesgo de exposición a la infección y la debida atención y tratamiento cuando han estado enfermos".<sup>106</sup>

En conversación privada, el profesor Wilson me ha hecho notar que a menos que se lleven a cabo experimentos concluyentes antes de entregar un posible remedio al consumo público, es casi imposible organizar posteriormente controles con grupos no tratados y de este modo el supuesto remedio se adopta, sin que nadie sepa, por cierto, si posee alguna utilidad. Por ejemplo, el tratamiento antirrábico de Pasteur no ha sido propiamente comprobado en su capacidad de prevenir la rabia, cuando se administra a personas después de mordidas, y algunas autoridades dudan que tenga valor, pero en la actualidad es imposible llevar a cabo una prueba en la cual no se administre el tratamiento a personas mordidas consideradas como controles.

Algunas veces es necesario en experimentos de campo conservar los grupos en ambientes diferentes. En tales experimentos nunca se puede estar seguro de que las diferencias que se observen sean debidas a los factores particulares que se investigan y no a las diferencias del medio. Algunas veces puede subsanarse esta dificultad mediante la repetición de ambos grupos (prueba y control) de tal modo que los posibles efectos debidos al medio se expongan y neutralicen. Si se reconocen variables extrañas, pero se imposibilita su eliminación puede ser necesario utilizar una serie de controles o llevar a cabo una serie de experimentos con el objeto de aislar estas diferencias apreciadas entre los grupos que se comparan. Siempre que sea posible, los resultados de un experimento deben ser apreciados mediante medidas objetivas. Sin embargo, ocasionalmente esto no es posible cuando los

resultados, por ejemplo, se refieren a la severidad de síntomas clínicos o la comparación de cambios histológicos. Cuando pueda existir una posible influencia subjetiva al estimar resultados es importante tratar de obtener objetividad, asegurándose que quien juzga los resultados no conozca a cuál grupo pertenece cada individuo.

Aun cuando el científico posea una mente objetiva, es muy difícil evitar que sus juicios no estén subconscientemente influenciados por el conocimiento del grupo al cual pertenecen los diferentes casos. Más aún, el experimentador consciente conociendo este peligro, puede influenciarse en dirección contraria a los resultados esperados. La honestidad intelectual es de primera importancia en el trabajo experimental.

Una vez que el experimento ha sido llevado a cabo y los resultados evaluados con la ayuda de la biometría, si es necesario, se interpretarán relacionándolos con todo lo ya conocido acerca del problema en cuestión.

## DISEÑOS Y EVALUACION DE LOS EXPERIMENTOS

La aplicación de los métodos matemáticos estadísticos a la biología es relativamente una rama reciente de la ciencia; esta rama, denominada Biometría o Bioestadística, es de gran importancia en la investigación.

En el Capítulo Nº 1 se han mencionado algunos libros que tratan de esta materia y, por lo tanto, sólo deseo llamar aquí la atención hacia su importancia e insistir sobre la utilidad que representa para el investigador estar familiarizado al menos con los principios generales. En cualquier forma de investigación, bien sea experimental o de simple observación, donde se trabaje con números, es necesario algún conocimiento de métodos estadísticos, y esto es especialmente cierto en experimentos complicados en los cuales existan más de una variable.

Algo muy importante para el principiante es comprender que si los resultados van a ser tratados estadísticamente, es necesario tener en cuenta la estadística al planear el experimento. Por consiguiente, la estadística concierne no sólo con los resultados del experimento, sino también con su diseño. En la actualidad, se consideran incluidas en esta ciencia no sólo las técnicas estadísticas simplemente sino también las decisiones más amplias que determinan las aplicaciones de estas técnicas a la experimentación, tal como el principio general del diseño de experimentos y los principios lógicos concernientes. Este tópico ha sido bien discutido por el profesor R. A. Fisher en su libro *The Design of Experiments*.<sup>39</sup>

Tanto la lógica, como el sentido común son utilizados al seleccionar los grupos de prueba y de control.

Una falacia común, por ejemplo, consiste en comparar grupos separados en el tiempo; los datos de un año se comparan con aquellos obtenidos en años anteriores. La evidencia que se obtiene de este modo, nunca es concluyente aun cuando pueda ser útil por lo que sugiera.

En las investigaciones biológicas pueden existir multitud de factores insospechados que tengan influencia en poblaciones que estén separadas bien sea por el tiempo o geográficamente. Una vez satisfechas las consideraciones generales se utilizarán los métodos estadísticos para decidir el tamaño necesario de los grupos, seleccionar los animales de acuerdo a peso, edad, etc., permitiendo de este modo la distribución de animales en grupos dotados de todas las particularidades necesarias, sin sacrificar el principio de la selección al azar.

Debido a la variabilidad del material biológico, no existen dos grupos de animales o plantas exactamente similares. Aun cuando se tome todo tipo de precauciones para asegurar que todos los individuos en ambos grupos

son casi lo mismo en lo que respecta a sexo, edad, raza, peso, etc., siempre existirán variaciones fundamentadas en factores no bien conocidos aún. Es esencial comprender bien la imposibilidad de obtener grupos exactamente similares. Esta dificultad puede resolverse si se toma en cuenta la estimación de la variabilidad cuando se evalúan los resultados. Dentro de ciertos límites, es deseable escoger para un experimento animales que muestren poca variabilidad de uno para con el otro, pero no es esencial hacer demasiado énfasis para lograrlo. El propósito es aumentar la sensibilidad del experimento, pero esto puede llevarse a cabo de otra manera, tal como mediante el aumento del número en los grupos. Existen técnicas matemáticas que permiten, en ciertos casos, hacer correcciones para anular las diferencias entre individuos o grupos.

Otro método de resolver la dificultad de la variabilidad entre animales de experimentación, es mediante el "pareamiento": Los animales se acomodan en pares lo más semejante posibles (pares de gemelos o animales de la misma camada). Cada animal en este método se compara con su par y de este modo se obtiene una serie de resultados experimentales. Mediante el uso de gemelos idénticos puede efectuarse una gran economía en número, lo cual a veces es muy importante en investigaciones con animales costosos. En experimentos llevados a cabo en Nueva Zelanda, sobre rendimiento de grasa en la leche, se demostró que podía obtenerse tanta información usando un par de vacas gemelas idénticas como la que se obtenía de dos grupos cada uno de 55 vacas. Al utilizar gemelos idénticos en experimento sobre ratas de crecimiento, se encontró que éstos eran alrededor de veinticinco veces más útiles que las vacas ordinarias.<sup>4</sup> Cuando se ensaya un procedimiento por primera vez, a menudo es imposible estimar por adelantado cuántos animales se requieren para lograr un resultado decisivo. Si se necesitan animales de precio ele-

vado puede lograrse una economía haciendo primero pruebas con unos pocos animales y repitiéndolos hasta que los resultados acumulados sean suficientes para satisfacer los requisitos estadísticos.

Uno de los conceptos básicos en estadística es que los individuos en el grupo de estudio son una muestra de una población hipotética infinitamente grande. Existen técnicas especiales para escoger el tamaño necesario de las muestras, de modo que sea representativo del todo. El número requerido en estas muestras, depende de la variabilidad del material y del grado de error que pueda ser tolerado en los resultados, o sea, el orden de precisión que se requiera.

Fisher considera que en el pasado se ha dado énfasis a la importancia de variar un factor a un tiempo en la experimentación y demuestra que existen ciertas ventajas al planear experimentos para comprobar un número de variables al mismo tiempo. Técnicas matemáticas apropiadas permiten incluir diversas variables en un solo experimento y esto no sólo economiza tiempo y esfuerzo sino que da más información que si cada variable fuera tratada separadamente, además obtiene más información, porque cada factor se examina bajo una variedad de circunstancias y cualquier interacción entre los factores puede ponerse de manifiesto. El método tradicional, que consiste en el aislamiento experimental de un simple factor, a menudo envuelve una definición arbitraria de ese factor y su comprobación bajo circunstancias simplificadas y restringidas. Sin embargo, los experimentos complejos con la utilización de factores múltiples, son a menudo más aplicables en el trabajo con plantas que con animales, aun cuando pueden utilizarse con cierta ventaja en algunos tipos de experimentos, como en las pruebas de alimentación, donde se trata de comprobar diversas combinaciones de varios componentes en las raciones.

Es indudable que la estadística, como cualquier otra técnica de investigación, tenga sus usos y limitaciones y es necesario estimar su ubicación correcta y su función en la investigación. Su principal valor consiste en comprobar las hipótesis pero no en iniciar los descubrimientos. Los descubrimientos pueden originarse cuando se toman en cuenta y se tratan de investigar simples sugerencias o diferencias en los resultados obtenidos de diferentes grupos; mientras que la estadística se utiliza por lo común en experimentos preestablecidos para comprobar ideas previas. También cuando el experimentador trate de recopilar datos para el análisis estadístico, debe evitar hacerlo a expensas de la precisión de las observaciones y del cuidado con los detalles del experimento.

El uso de la estadística no disminuye la necesidad de utilizar el sentido común al interpretar los resultados, punto este que a veces se olvida. Esta falacia es muy propensa a ocurrir en trabajos de campo, en el cual pueden existir diferencias significantes entre dos grupos, lo cual no implica que la diferencia sea causada por el factor que se considera, sino que posiblemente existe alguna otra variable cuya influencia o importancia no ha sido reconocida. Esto no es una simple posibilidad académica, como se demuestra, por ejemplo, por la confusión nacida con muchos experimentos de vacunación contra tuberculosis, el resfriado común, la mastitis bovina. El mejoramiento de las medidas higiénicas y otras circunstancias que puedan influenciar los resultados, van a menudo unidas con la vacunación. Las estadísticas demuestran que las personas que fuman no viven tanto como aquellas que no fuman, pero esto no implica necesariamente que el fumar acorta la vida. Pudiera ser que aquellas personas que no fuman se cuidan mejor en otros aspectos más importantes de su salud. En experimentos bien diseñados se evitan estos

engaños porque el proceso inicial de escogencia asegura una comparación válida de los grupos.

El estadístico, especialmente si no es biológico, puede inclinarse a sobreestimar los datos que se le entregan; por otra parte, el experimentador debe expresar claramente el límite de la precisión de sus mediciones. Es conveniente que el estadístico tenga experiencia personal en la experimentación biológica y debería estar familiarizado con todos los aspectos del experimento en el cual sirve de consejero. Una estrecha colaboración entre el estadístico y el biólogo permite frecuentemente evitar una gran cantidad de cálculos matemáticos.

La utilización de promedios en los resultados puede desfigurarse ocasionalmente los informes científicos. Los promedios aportan poca información y muy a menudo pueden ser engañosos. La distribución de frecuencia y algunos cálculos relacionados con los individuos deben ser especificados ya que son de gran ayuda para lograr una visión completa. Las gráficas pueden ser engañosas y, por lo tanto, los datos en los cuales se basan deben ser examinados críticamente. Si los puntos de una gráfica no están suficientemente cerca, es decir, si las observaciones no han sido hechas a intervalos frecuentes, no siempre se justifica el unirlos mediante líneas rectas o curvas. Tales líneas pueden que no representen la verdadera posición, porque no se sabrá qué pasó en el intervalo. Por ejemplo, puede haber habido una caída o elevación insospechada.

#### EXPERIMENTOS ENGAÑOSOS

En los capítulos apropiados de este libro se discuten algunos de los peligros asociados con el uso de la razón, la hipótesis y la observación en la investigación. Con el objeto de coartar cualquier tendencia a depositar dema-

siada fe en la experimentación, es bueno recordar al lector que los experimentos muchas veces pueden ser engañosos. La causa de error más común es técnica. No se debe confiar demasiado en los resultados a menos que el experimentador sea verdaderamente competente y esté familiarizado con los procedimientos técnicos que utiliza. Aun en manos expertas, los métodos técnicos deben ser constantemente comprobados con especímenes conocidos. Además de las fallas técnicas, existen otras razones más sutiles que pueden hacer que un experimento "salga mal".

John Hunter se infectó deliberadamente con blenorragia, en un intento de comprobar que esta era una enfermedad distinta de la sífilis. Desgraciadamente, el material que utilizó para inocularse contenía además organismo de la sífilis, lo cual dio por resultado que contrajese ambas enfermedades y de este modo se estableció durante un largo tiempo la falsa creencia de que ambas eran manifestaciones de la misma enfermedad. Los experimentos de Ncedham con frascos de caldo lo impulsaron tanto a él como a otros a creer que era posible la generación espontánea. Los conocimientos que se tenían en esa época eran insuficientes para demostrar que la falacia nacía de contaminación artificial o de esterilización insuficiente. En los últimos años, hemos tenido ocasión de ver un experimento bien diseñado para comprobar que la patulina tenía valor terapéutico contra el resfriado común. Los requerimientos estadísticos estaban satisfechos. Pero nadie ha sido capaz de demostrar ningún beneficio obtenido de la patulina y todavía es un misterio el por qué se demostró eficaz en el primer experimento.<sup>24</sup>

La primera vez que vi una demostración de lo que se conoce como la operación de Mules, para la prevención del ataque del moscardón en las ovejas, me di cuenta de su importancia y me emocionó las grandes potencialidades de ese descubrimiento. De inmediato comencé un ex-

perimento con miles de ovejas y sin esperar los resultados convencí a otros colegas trabajando en el mismo problema para que llevaran a cabo experimentos similares. Cuando al cabo de un año se conocieron los resultados, las ovejas en mi experimento no mostraban ningún beneficio proveniente de la operación. Las otras pruebas y todas las siguientes mostraron que la operación confería un buen grado de protección, y no se pudo encontrar ninguna explicación para la falla de mi experimento. Fue afortunado el que yo tuviera suficiente confianza en mi juicio de modo que prevaleciera sobre mis colegas y estos llevaran a cabo comprobaciones en otras partes del país, pues, si yo hubiera sido más cauteloso y hubiera esperado mis resultados, ellos probablemente habrían retardado durante muchos años la adopción de la operación.

En los Estados Unidos, varios experimentos llevados a cabo en gran escala probaron que la inmunización reducía grandemente la incidencia de influenza en 1943 y de nuevo en 1945; sin embargo, el mismo tipo de vacuna falló en 1947.

Más tarde, se comprobó que esta falla era debida a que la cepa del virus de 1947 era diferente de la que se utilizó para elaborar la vacuna en los años anteriores.

No es raro que científicos que se encuentran en diferentes partes del mundo obtengan resultados contradictorios con material biológico similar. Algunas veces estos pueden achacarse a factores insospechados; por ejemplo, las diferentes reacciones de los acures a la toxina diftérica se encontró que era debida a diferencias en la dieta de los animales. Otras veces no ha sido posible descubrir la causa de discrepancia a pesar de haberse investigado a fondo. En el laboratorio del doctor Monroe Eaton, de los Estados Unidos, el virus de influenza puede pasarse entre ratones, pero en el laboratorio del doctor C. H. Andrews, de Inglaterra, esto no pudo llevarse a cabo, aun

cuando las mismas cepas de virus y ratón, las mismas jaulas de animales y exactamente la misma técnica eran utilizadas.

Debemos recordar que los resultados experimentales especialmente en biología sólo son válidos, hablando estrictamente, para aquellas condiciones precisas bajo las cuales se llevaron a cabo los experimentos. Cuando se obtienen resultados, bajo un conjunto limitado de circunstancias, es necesario precaverse contra la aplicación amplia de las conclusiones que se deduzcan de los mismos.

Darwin, dijo una vez, medio en broma: "La naturaleza, si puede, os dirá una mentira directa". Bancroft, hace notar que todos los científicos saben por experiencia lo difícil que es lograr un experimento correcto, aun cuando se sepa cómo debe hacerse. Por consiguiente, dice él, no debe confiarse demasiado en un experimento llevado a cabo con el objeto de obtener información.<sup>10</sup>

Los ejemplos anotados han sido de experimentos en los cuales los resultados han sido "cerrados" o engañosos. Afortunadamente, son las excepciones. Mucho más común es el caso de experimentos que fracasan al tratar de demostrar algo por desconocimiento de las condiciones exactas de experimentación, tal como el caso de Faraday, al fracasar repetidas veces al principio, cuando trató de obtener corriente eléctrica mediante un magneto. Tales experimentos demuestran la bien conocida dificultad de tratar de probar una proposición negativa, y los científicos conocen bien la tontería que se comete al tratar de extraer conclusiones definitivas de los mismos experimentos. Se dice que algunos institutos de investigación destruyen deliberadamente los protocolos de "experimentos negativos", y es una buena costumbre no publicar investigaciones cuya única conclusión sea el no haber logrado verificar la hipótesis para lo cual fueron diseñados.



La base de la mayoría de la experimentación biológica es el experimento controlado, en el cual grupos compuestos de individuos escogidos al azar, son comparables en todos los aspectos, excepto en aquel que se investiga, teniendo siempre en cuenta la variabilidad inherente a todo material biológico. Dos principios útiles son: Probar el todo antes que las partes y la eliminación sistemática de posibilidades. Al ejecutar un experimento es muy importante prestar atención cuidadosa a todos los detalles, llevar anotaciones detalladas y tener objetividad al interpretar los resultados.

Tanto el diseño de los experimentos, como la interpretación de los resultados incumben a la Biometría. Un concepto básico en Biometría es el de que existe una población hipotética infinitamente grande de la cual el grupo experimental representa una muestra escogida al azar. La dificultad que representa la variabilidad inherente a todo material biológico se resuelve calculando la misma y tomando en cuenta este cálculo al evaluar los resultados.

La experimentación, tal como cualquier otra medida utilizada en la investigación, no es infalible. La incapacidad para demostrar una suposición experimentalmente, no prueba que la misma es incorrecta.

Capítulo Nº 3

## CASUALIDAD

*La casualidad sólo favorece a aquellos que saben cortejarla.*

CHARLES NICOLLE

### EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

Será mucho más sencillo discutir el papel que la casualidad ha desempeñado en la investigación, si primero exponemos una serie de ejemplos de descubrimientos en los cuales la casualidad ha desempeñado una parte importante. Las anécdotas que se copian a continuación han sido tomadas de fuentes que se suponen auténticas y para cada una de ellas se cita a lo menos una referencia, aunque en varios casos, diversas referencias han sido consultadas. Sólo se incluyen diez en esta sección, pero en el apéndice se transcriben diecisiete ejemplos adicionales para ilustrar el papel desempeñado por la casualidad.

Las investigaciones que Pasteur llevaba a cabo sobre el cólera aviar, se vieron interrumpidas por las vacaciones y cuando reanudó su trabajo, se encontró un obstáculo inesperado: casi todos los cultivos estaban muertos. Pasteur intentó revivirlos, mediante resiembras en caldo e inoculaciones en aves. La mayoría de los subcultivos no crecieron y las aves no sufrieron efectos dañinos de ninguna naturaleza; por esta razón, Pasteur estaba a punto de descartar todo y comenzar de nuevo, cuando tuvo la

inspiración de reinocular las aves con un cultivo fresco. Su colega Duclaux relata:

"Casi todas las aves resistieron la inoculación, aunque aves no tratadas previamente sucumbían después del período usual de incubación; esto fue una sorpresa para todos, tal vez para el mismo Pasteur".

Esta observación trajo como resultado el reconocimiento del principio de inmunización con patógenos atenuados.<sup>31</sup>

El método más importante utilizado para la coloración de bacterias es el descubierto por el médico danés C. Gram. El describió cómo logró descubrir accidentalmente dicho método cuando trataba de desarrollar una coloración compuesta para cortes de riñón. Esperaba teñir los núcleos de color violeta y los túbulos de color pardo y para ello utilizaba violeta de genciana y a continuación solución de iodo. Gram halló que después de este tratamiento el tejido era decolorado rápidamente por el alcohol pero que ciertas bacterias permanecían teñidas de azul oscuro. Inesperadamente el violeta de genciana y el iodo habían reaccionado entre sí, con una sustancia presente en algunas bacterias y no en otras, proporcionando de este modo, no sólo una buena coloración, sino también una prueba sencilla que ha comprobado ser de gran valor para distinguir bacterias diferentes.<sup>109</sup>

Con el objeto de estudiar la función del páncreas en la digestión, los profesores Von Mering y Minkowski, en 1889, en Estrasburgo, operaron un perro para extraerle ese órgano. Más tarde, uno de sus asistentes notó que la orina del perro operado atraía gran cantidad de moscas. El asistente hizo notar este fenómeno al profesor Minkowski, quien analizó la orina y encontró que tenía azúcar. Este hallazgo condujo a nuestra comprensión de la diabetes y su control subsecuente mediante la insulina.<sup>22</sup> Re-

cientemente el inglés Shaw Dunn investigaba la causa de los trastornos renales provenientes de traumas severos en cualquiera de los miembros. Entre otras cosas, administró aloxano y encontró que causaba necrosis en los islotes del páncreas. Este hallazgo imprevisto ha sido de gran importancia para el estudio de la diabetes.<sup>32</sup>

Charles Richet, fisiólogo francés, probaba un extracto de los tentáculos de anémona en animales de laboratorio con el objeto de determinar la dosis tóxica, y encontró que si algún tiempo después de la primera dosis se administraba una segunda más pequeña ésta era fatal. Al principio se sorprendió tanto con los resultados que no podía creer que ellos se debían a algo que él hubiera hecho. Más aún, Richet decía que había descubierto la anafilaxia o sensibilización inducida a pesar de sí mismo y que nunca hubiera creído que esto era posible.<sup>22</sup>

Otra manifestación del mismo fenómeno, fue descubierta independientemente por sir Henry Dale. El aplicaba suero de caballo a trozos de músculo involuntario aislado de acure, cuando notó que uno de ellos reaccionaba violentamente a la aplicación del suero. Tratando de buscar una explicación para este fenómeno encontró que el acure, del cual se había tomado el tejido, había sido inoculado anteriormente con suero de caballo.<sup>27</sup>

Era práctica rutinaria entre los fisiólogos, el uso de la solución salina como fluido de perfusión en los experimentos con corazones aislados de sapos. De este modo se conservaban latiendo hasta por media hora. Una vez, en el London University College Hospital, un fisiólogo se sorprendió y extrañó al encontrar que los corazones que él utilizaba, latían durante varias horas. La única explicación que se le ocurrió, fue que ello era debido a un efecto estacional y asimismo lo escribió en su informe. Más tarde se encontró que la explicación se debía a que el

asistente había utilizado agua del chorro en lugar de agua destilada para preparar la solución salina. Una vez hallada esta pista, fue fácil investigar cuáles sales en el agua corriente eran las responsables del aumento de actividad fisiológica. Esto fue, lo que guió a Sidney Ringer a desarrollar la solución que lleva su nombre y que tan útil ha sido en la fisiología experimental.<sup>27</sup>

El doctor H. E. Durham, nos ha dejado la siguiente evidencia escrita del descubrimiento de la aglutinación de bacterias por su suero inmune específico:

"Fue una mañana memorable en noviembre de 1894, todo lo teníamos listo, con cultivos y sueros provistos por Pfeiffer para comprobar su reacción de diagnóstico *in vivo*. El profesor Gruber me llamó: «Durham, Kommen Sie her, schauen Sie an!» Antes de efectuar la primera inoculación con la mezcla de suero y vibriones, Gruber había colocado un poco en el microscopio y se observaba el fenómeno de la aglutinación. Días más tarde, por carencia de los pequeños recipientes de vidrio esterilizados que usábamos rutinariamente, me ví en la necesidad de utilizar tubos de ensayo estériles: aquellos que contenían la mezcla de cultivo y suero se dejaron sin utilizar durante poco tiempo, al cabo del cual llamé: «Herr Professor: Kommen Sie her, schauen Sie an!» Ante nuestros ojos se mostraba el fenómeno de la sedimentación. De este modo se obtuvieron dos técnicas, la microscópica y la macroscópica".

Este descubrimiento inesperado no fue previsto por ninguna hipótesis. Ocurrió incidentalmente, mientras se efectuaba otro tipo de investigación y de este modo la aglutinación macroscópica se observó debido a la falta fortuita de recipientes estériles de vidrio. (Agradezco al profesor H. R. Dean el haberme mostrado el manuscrito de Durham).

Gowland Hopkins, a quien muchos consideran como el padre de la bioquímica, una vez dio a sus estudiantes durante una clase práctica un conocido ejercicio sobre proteínas, sin que ninguno de los estudiantes lograra llevar a cabo la reacción. La investigación posterior demostró que la reacción sólo se obtenía, cuando el ácido acético que se empleaba contenía como impureza ácido glioxílico, el cual, a partir de ese momento, se convirtió en el reactivo patrón. Hopkins prosiguió la investigación más allá, buscando el grupo de la proteína responsable por la reacción con el ácido glioxílico, lo cual lo condujo a su famoso aislamiento del triptófano.<sup>88</sup>

Cuando en 1915 Weil y Felix investigaban casos de tífus en Polonia, aislaron de algunos pacientes una bacteria conocida como "Proteus X". Pensando que este microorganismo era el causante de la enfermedad, intentaron la aglutinación del mismo con suero de los pacientes, logrando resultados positivos. Más tarde se comprobó que el Proteus X, no era el responsable de la enfermedad, a pesar de lo cual, la prueba de aglutinación probó ser un método seguro y valioso para el diagnóstico del tífus. Durante los estudios posteriores de esta reacción serológica, Weil y Felix identificaron los antígenos O y H y este descubrimiento a su vez abrió nuevos campos a la serología. Posteriormente se observó en Malaya, que los casos de tífus rurales no mostraban aglutinación con Proteus X<sub>19</sub>. Extrañamente, una nueva cepa de Proteus enviada de Inglaterra y la cual se creía era una cepa típica de Proteus X<sub>19</sub>, aglutinaba con los sueros de los pacientes rurales, pero no con los sueros de los casos de las ciudades, los cuales reaccionaban satisfactoriamente con la cepa Proteus X<sub>19</sub>, utilizada en varias partes del mundo. Más tarde, se descubrió que ambos tipos de tífus eran enfermedades rickettsiales diferentes. Es todavía un profundo misterio el que la cepa enviada de Inglaterra no solamente

no fuera Proteus X<sub>19</sub>, típica, sino que, aún más, hubiera cambiado en forma exacta y necesaria para servir en el diagnóstico de otra enfermedad.<sup>57</sup>

De una manera inesperada e independientemente, McClellan y Hare, y también Hirst, observaron la aglutinación de glóbulos rojos de pollo con virus de influenza, mientras examinaban embriones infectados o inoculados con el virus. El líquido que contenía el virus, se entremezclaba con los glóbulos rojos, los cuales se aglutinaban. Estos científicos, alertas y observadores, no perdieron tiempo en proseguir la oportunidad que se les ofrecía. El descubrimiento de este fenómeno, no sólo ha revolucionado mucho el conocimiento de la técnica relacionada con varios virus, sino que ha abierto nuevos campos a los problemas fundamentales de las relaciones virus-células.<sup>58,60</sup> A partir de este descubrimiento otros investigadores usaron la misma técnica con otros virus y así encontraron que los virus de Newcastle, peste aviar y vacuna, producían el fenómeno. Sin embargo, también fue por casualidad como se descubrió la hemaglutinación con los virus de la parotiditis y la neumonía del ratón.

Las rickettsias (microorganismos relacionados con los virus) causan el tífus y varias otras enfermedades importantes y son difíciles de cultivar. El doctor Herald Cox dedicó mucho tiempo y esfuerzos al mejoramiento de los métodos de cultivo de dichos microorganismos en tejidos, para lo cual él añadía a los cultivos todo tipo de extractos, vitaminas y hormonas sin lograr obtener resultados satisfactorios. Un día, mientras efectuaba una prueba, al agotársele el tejido de embrión de pollo, utilizó en su lugar el saco vitelino, que hasta entonces había sido siempre desechado. Para su "asombro y sorpresa", observó más tarde un número extraordinario de microorganismos en aquellos tubos donde había añadido el saco vitelino. Unas pocas noches más tarde, mientras se encontraba en la cama, se

le ocurrió la idea de inocular las rickettsias directamente en el saco vitelino del embrión de pollo. Saltó de la cama a las cuatro de la mañana y se dirigió al laboratorio para efectuar la primera inoculación de rickettsia en dicha forma. De este modo, se descubrió una manera fácil para obtener cantidades abundantes de rickettsias, la cual ha revolucionado el estudio de las diversas enfermedades que ellas causan y han hecho posible la producción de vacunas contra las mismas (comunicación personal).

#### PAPEL DE LA CASUALIDAD EN LOS DESCUBRIMIENTOS

Estos ejemplos, junto con los que se transcriben en el apéndice y algunos de los capítulos 4 y 8, son una ilustración notable del importante papel que la casualidad desempeña en los descubrimientos. Aumenta su importancia, cuando pensamos lo frecuente que son los fracasos y las frustraciones en investigación. Probablemente la mayoría de los descubrimientos en Biología y Medicina, han sido inesperados o cuando menos han tenido su pequeño elemento de casualidad, especialmente los más importantes y revolucionarios. Esto no debe sorprendernos, si pensamos que si algo nuevo es revolucionario, difícilmente podría ser previsto apoyándose en conocimientos anteriores. Con bastante frecuencia he oído a algunos de mis colegas decir casi avergonzados, "lo encontré por accidente", cuando nos hablan de algún nuevo descubrimiento. Aun cuando se sabe corrientemente que la casualidad es un factor en la formación de los descubrimientos, raras veces se aprecia la magnitud de su importancia y la significación de su papel no parece haber sido comprendida completamente. Se han escrito muchos libros sobre métodos científicos en los cuales se omite cualquier referencia a la casualidad o al empirismo en los descubrimientos.

Tal vez, los ejemplos más notables de descubrimientos empíricos, se encuentran en el campo de la quimioterapia, donde casi todos los grandes descubrimientos se han hecho siguiendo una hipótesis falsa, o la llamada observación casual. En otras partes de este libro se describen las circunstancias bajo las cuales se descubrieron los efectos terapéuticos de la quinina, salvarsán, sulfanilamida, diamidina, ácido paraaminobenzoico y penicilina. La investigación adicional en cada uno de estos casos contribuyó muy poco al descubrimiento original. Estos hechos son aún más sorprendentes, cuando se piensa en la inmensa investigación racional que se ha llevado a cabo en quimioterapia.

El investigador debe aprovechar este conocimiento de la importancia de la casualidad en los descubrimientos y no mirarlo como si fuera una rareza, o peor aún, como algo que disminuye el crédito merecido al descubrimiento y que, por lo tanto, debe menospreciarse. Aun cuando no podemos producir deliberadamente la casualidad, debemos estar alertas para reconocerla cuando se presente y preparados para aprovecharnos de ella lo mejor posible. El solo hecho de darse cuenta de la importancia de la casualidad, es de gran ayuda para el principiante. Debemos practicar nuestros poderes de observación, de modo que se desarrolle esa actitud mental que consiste en estar siempre a la expectativa de lo imprevisto y formarnos el hábito de examinar cualquier posibilidad que nos ofrezca la casualidad. Los descubrimientos se hacen prestando atención a todos los indicios por pequeños que estos sean. La actitud mental del científico, que requiere evidencias convincentes, debe reservarse para la etapa de prueba de la investigación. En la experimentación se requieren actitudes mentales diferentes para el descubrimiento y para la comprobación, ya que el descubrimiento y la comprobación son procesos también distintos. Nuestra hi-

pótesis no debe obsesionarnos tanto que descuidemos cualquier cosa que no se relacione con ella. En este punto pensaba Bernard cuando insistía que, aunque la hipótesis era esencial al diseñar un experimento, una vez que éste comenzaba, el observador debía olvidarse de ella por completo. El decía que las personas que se apegaban demasiado a sus hipótesis, no eran adecuadas para efectuar descubrimientos. La anécdota, que del mismo Bernard se cuenta en el Capítulo N° 8, es un buen ejemplo de descubrimiento en el cual se unen observación, casualidad y preparación mental.

Una buena máxima para el investigador principiante es: "Atención a lo imprevisto".

No es conveniente utilizar el término suerte en investigación, ya que puede prestarse a malas interpretaciones. No existe ninguna objeción a utilizarlo cuando se quiera significar simplemente casualidad, pero para muchas personas suerte es una noción metafísica, la cual de una manera mística influye en los acontecimientos, y este tipo de concepto no debe penetrar jamás en el pensamiento científico. Tampoco debe creerse que la casualidad es el único factor complicado en esos descubrimientos inesperados, y esto lo discutiremos más detenidamente en la próxima sección. En las anécdotas antes citadas, muchas de las oportunidades pudieron haber pasado desapercibidas de no haber sido que los investigadores estaban esperando lo imprevisto. El buen científico presta atención a toda observación o acontecimiento inesperado ofrecido por la casualidad, e investiga cuidadosamente todos aquellos que le parecen más promisorios. A este respecto sir Henry Dale ha hablado de oportunismo. Los científicos sin aptitudes para los descubrimientos, muy raras veces se preocupan o se dan cuenta de lo inesperado, y de este modo las oportunidades ocasionales pasan a su lado sin que ellos las noten. Alan Gregg escribió:

"Uno se pregunta si esa rara habilidad de estar siempre atento y aprovechar la más ligera desviación de la conducta esperada de la naturaleza, no es el verdadero secreto de las mejores mentes científicas, secreto que explicaría por qué, algunos hombres convierten los accidentes más triviales en sucesos memorables. Detrás de tal atención yace una sensibilidad extrema".<sup>18</sup>

Al escribir respecto a Charles Darwin, decía su hijo:

"Todo el mundo nota un hecho excepcional cuando este es frecuente y llamativo, pero él tenía un especial instinto para notar las excepciones. Muchas personas pasan por alto casi inconscientemente y a lo más con una ligera explicación cualquier punto que no posea conexión aparente con su trabajo. Sin embargo eran estas cosas las que él se apresuraba a analizar y las cuales le servían de punto de partida en su trabajo".<sup>25</sup>

Es de grandísima importancia que se entienda claramente el papel de la casualidad. La historia de los descubrimientos demuestra que la casualidad desempeña una parte importante, pero sólo una parte, aun en aquellos descubrimientos que se le atribuyen por completo. Por esta razón, es una engañosa semiverdad referirse a los hallazgos inesperados con los títulos de "descubrimientos casuales" o "descubrimientos accidentales". Si la casualidad o los accidentes fueran los únicos responsables en este tipo de descubrimientos, igual oportunidad de realizarlos tendría cualquier investigador que comienza, que un Pasteur o un Bernard. La verdad de este problema está encerrada en el famoso dicho de Pasteur: "En el campo de la observación, la casualidad sólo favorece a la mente preparada". Lo que cuenta es la interpretación de la observación casual. El papel de la casualidad consiste simplemente en ofrecer la oportunidad, pero es el científico quien tiene que reconocerla y aprovecharla.

Quando leemos acerca de los descubrimientos científicos muy a menudo experimentamos sorpresa por los grandes descubrimientos que se han llevado a cabo a partir de observaciones simples y a primera vista fáciles, las cuales han hecho famosos a muchos investigadores. El descubrimiento en su origen generalmente no posee valor intrínseco, es el descubridor quien le da significación, relacionándolo con otros descubrimientos y utilizándolo a su vez para derivar aún más conocimiento. Las dificultades que involucra el llevar a cabo descubrimientos a base de casualidades pueden ser considerados bajo los siguientes subtítulos:

a) *Poca frecuencia de oportunidades.* No es corriente que se presenten las oportunidades bajo la forma de datos significantes. Es este el único aspecto verdaderamente afectado por la casualidad pura y aun así el científico no juega un papel pasivo. Los buenos investigadores son científicos que pasan la mayor parte de su tiempo en las mesas de trabajo, sin confinar sus actividades a lo puramente convencional, sino que por el contrario siempre intentan lo nuevo y, por lo tanto, están expuestos al encuentro de "accidentes" afortunados.

b) *Apreciación de los indicios.* Se requiere poder de observación agudo para apreciar cualquier indicio que se presente y al mismo tiempo una habilidad especial para notar lo inesperado mientras se está a la expectativa de lo esperado. En el capítulo sobre Observación se trata ampliamente sobre esta capacidad de atención, de la cual sólo diremos aquí que es principalmente un proceso mental.

c) *Interpretación de los indicios.* Interpretar y aclarar la posible significación de cualquier indicio es la

parte más difícil de todas y requiere lo que podríamos llamar la "mente preparada". Consideremos algunos casos en los cuales no se supo aprovechar las oportunidades. Varios investigadores antes de Roentgen habían notado el fenómeno de las placas fotográficas veladas que lo condujo sólo a él a descubrir los rayos X.<sup>25</sup> Varias personas recuerdan ahora, haber observado la inhibición de colonias de estafilococos por hongos, antes de que Fleming, a partir de la misma observación, descubriera la penicilina. Scott, por ejemplo, recuerda haberlo visto y considerarlo como un estorbo, y protestó contra la opinión de que el descubrimiento de Fleming se debió al azar, porque según él, sólo la perspicacia le permitió a Fleming apoderarse de la oportunidad que otros habían despreciado.<sup>26</sup> Otro caso interesante es el que nos cuenta J. T. Edwards.<sup>27</sup> En 1919 notó que algunos cultivos de *Brucella abortus*, que estaban contaminados con hongos, crecían mucho mejor que aquellos que no lo estaban. Llamó la atención de sir John M'Fadyean hacia este fenómeno sugiriendo que pudiera ser de importancia, pero éste no le hizo caso. Más tarde, se descubrió que el *Brucella abortus*, crecía mucho mejor en presencia de CO<sub>2</sub>, lo cual explica por qué el cultivo de Edwards proliferaba en contacto con el hongo. Bordet y otros cuantos habían notado la aglutinación de bacterias con el suero específico, pero nadie hasta Gruber y Durham, se dio cuenta de las posibilidades que ofrecía. Del mismo modo, varios otros antes de Twort y D'Herelle habían visto el fenómeno de lisis por el bacteriófago. F. M. Burnet admite haber visto el fenómeno de aglutinación de eritrocitos de embriones por el virus de la influenza, pero sólo G. K. Hirst, McClelland y Hare, lo comprendieron y explicaron. Muchos bacteriólogos habían notado las variaciones de colonias de aspecto rugoso a suave antes de que Arkwright lo investigara y encontrara que la misma estaba asociada

a cambios de virulencia y antigenicidad. Este hallazgo de Arkwright es hoy en día, uno de los hechos fundamentales en Inmunología y Serología.

Algunas veces el significado de los indicios que la oportunidad coloca en nuestro camino es obvio, pero otras veces es un incidente trivial que sólo tiene significación para la mente preparada, o sea aquella mente llena de datos importantes y madura para el descubrimiento. Cuando la mente posee ideas vagas y un conjunto de datos importantes pero inconexos, una idea aclaratoria puede ayudar a ordenarlos mediante algún pequeño incidente. Del mismo modo como una sustancia puede cristalizar en el seno de una solución por la presencia de un núcleo constituido por un pequeñísimo cristal de adecuada configuración, asimismo la caída de la manzana proporcionó el modelo para la mente de Newton. Sir Henry Souttar ha hecho notar que es lo contenido en el cerebro del observador, acumulado durante años de trabajo, lo que hace posible el triunfo. Este aspecto de las observaciones casuales será discutido posteriormente en los capítulos sobre Observación y sobre Intuición.

Cualquiera con una mente alerta encontrará durante el curso de una investigación, numerosos problemas secundarios que podrían ser objeto de trabajo. Es físicamente imposible tratar de aclararlos todos. La mayoría de estos problemas no tienen ningún valor, algunos merecen la pena de ser investigados y tal vez uno de ellos provea la oportunidad de toda una vida. Cómo distinguir cuáles son los promisorios constituye la esencia del arte de la investigación. Aquel científico que posea una mente independiente y que sea capaz de juzgar la evidencia por sí misma y no a la luz de los conceptos prevalentes, tendrá mayores oportunidades de apreciar las potencialidades de algo nuevo. También necesitará imaginación y una buena base de conocimiento que lo capacite para saber si la

observación es original y al mismo tiempo para derivar las posibles implicaciones. Cuando se decide acerca de la línea de trabajo que se va a seguir, no debe descartarse ninguna idea por el solo hecho que haya sido pensada por otros, o de que se haya tratado sin ningún resultado productivo. Nada de esto indica el que una idea no sea buena. Muchos de los descubrimientos clásicos fueron anticipados, pero no se desarrollaron correctamente hasta que los encaró la persona apropiada. No fue Edward Jenner el primero en inocular a personas con vacunas para protegerlas contra la viruela, William Harvey no fue el primero en postular la circulación de la sangre, de ningún modo fue Darwin quien primero sugirió la evolución, ni fue Colón el primer europeo en ir a la América; Pasteur no fue el primero en proponer la teoría microbiana de las enfermedades, ni tampoco fue Lister el primero en utilizar ácido fénico como antiséptico en las heridas. Pero todos estos hombres fueron los primeros en desarrollar estas ideas por completo y en forzarlas en un mundo antagónico, y muy correctamente se les acredita por haber logrado que esos descubrimientos fructificaran. No son sólo las ideas nuevas las que llevan a los descubrimientos. De hecho, muy pocas ideas son originales. Cuando se estudia con detenimiento el origen de una idea a menudo se encuentra que otros han sugerido lo mismo o algo muy parecido con anterioridad. Este tipo de ideas, que no se desarrollan desde el principio, fueron llamadas por Nicole "ideas precursoras".

#### APROVECHAMIENTO DE LAS OPORTUNIDADES

Después que un descubrimiento ha logrado vencer todos estos obstáculos y alcanzado aquella etapa donde es comprendido y apreciado por su iniciador, todavía persisten por lo menos tres inconvenientes, que hacen que se retarde su aceptación general.

d) *Incapacidad para llevar hasta el fin el hallazgo inicial.* Puede ser que el descubrimiento inicial no se lleve a su fin debido a que no se prosigue y aprovecha por completo. Los mejores científicos no se conforman con aclarar los interrogantes inmediatos, sino que hacen uso del conocimiento ya obtenido para solucionar otros adicionales, los cuales a menudo son más importantes. Steinhäuser descubrió, en 1840, que el aceite de hígado de bacalao curaba el raquitismo pero este hecho tan importante quedó sin comprobar, y en la categoría tan solo de una opinión durante los ochenta años siguientes.<sup>94</sup> En 1903, Theobald Smith descubrió que algunas bacterias móviles podían existir en los cultivos en la forma móvil normal o en la variante no móvil y demostró la significación de ambas formas en las reacciones inmunológicas. Este trabajo pasó sin llamar la atención y casi fue olvidado, hasta que Weil y Felix lo redescubrieron en 1917. Hoy en día se considera uno de los hechos fundamentales en las reacciones inmunológicas.<sup>91</sup> Fleming, en 1929, describió las preparaciones crudas de penicilina y después de unos cuantos años abandonó el trabajo sin lograr desarrollar un agente terapéutico. No obtuvo ni estímulo ni ayuda de otras personas, debido a la gran cantidad de historias similares que habían tenido resultado negativo. Fue algunos años después cuando Florey prosiguió el trabajo donde lo había dejado Fleming y desarrolló la penicilina como agente terapéutico.

e) *Falta de aplicación.* Puede que no exista posibilidad de aplicar un descubrimiento hasta años más tarde. Neufeld, descubrió un método rápido para determinar los tipos de neumococos en 1902, pero no adquirió importancia hasta que en 1931 la terapia con suero tipo específico fue introducida. Landsteiner descubrió en 1901 los grupos sanguíneos, pero fue el uso de anticoagulantes y el desarrollo de las transfusiones de sangre durante la



guerra de 1914-1918 lo que concedió importancia y atención a dicho descubrimiento.

f) *Indiferencia y oposición.* Finalmente, el descubrimiento tiene que sufrir el impacto del escepticismo y a menudo la resistencia de parte de los extraños. Este puede ser uno de los obstáculos más difíciles de vencer y es aquí donde el científico ocasionalmente tiene que luchar y en ocasiones, en el pasado, algunos llegaron aun hasta a perder la vida. La psicología de la resistencia mental a las nuevas ideas y la oposición a los descubrimientos se discute en el último capítulo.

Muchos de los puntos tratados en estas dos últimas secciones, pueden ilustrarse resumiendo la historia de Jenner al reconocer y aprovechar las potencialidades de la vacunación. La inmunización artificial contra la viruela, mediante el uso del material virulento (variolización) había sido practicada en el Oriente durante mucho tiempo. Algunos dicen que ya era costumbre en China mil años antes de Cristo insertar material virulento en la nariz de los niños, otros opinan que la variolización fue introducida en China procedente de la India alrededor del año 1000 después de Cristo.<sup>12,75,108</sup>

Alrededor del siglo XVIII, la variolización fue introducida en Inglaterra procedente de Constantinopla y se aceptó, aun cuando no era una práctica muy popular para la época del nacimiento de Edward Jenner. Durante el período de aprendizaje de éste, a la edad de trece a dieciocho años, llamó su atención la creencia popular en Gloucestershire de que la persona que contraía la vacuna (*cow-pox*) se convertía en inmune a la viruela. Jenner notó que los médicos locales estaban familiarizados con esta creencia pero no la tomaban en serio, aun cuando habían notado que aquellas personas que habían sufrido la vacuna eran resistentes a desarrollar infecciones cuando

se sometían al proceso de variolización. Indudablemente, durante muchos años Jenner conservó este conocimiento en la mente sin hacer nada con él. Al regresar a la práctica rural, le confió a un amigo su idea de intentar la vacunación. Confió sus intenciones bajo el mayor secreto por miedo al ridículo en caso de que fallara. Mientras tanto se dedicaba a otro tipo de investigaciones. Junto con John Hunter observó las temperaturas y procesos digestivos de los animales en hibernación; con Joseph Banks experimentó acerca de los fertilizantes en agricultura, y por sí mismo llevó a cabo estudios de la manera cómo el pichón de cuclillo se desembaraza de sus compañeros de nido. Se casó a la edad de treinta y ocho años, y cuando su esposa tuvo un niño lo inoculó con viruela del cerdo y demostró su resistencia posterior a la viruela. Sin embargo, ninguno de sus colegas, aun el mismo John Hunter, mostró interés en la idea de Jenner en utilizar la vacuna para proteger contra la viruela, y su artículo escrito a este respecto le fue devuelto y aparentemente rechazado. Sólo fue a los cuarenta y siete años de edad (en el memorable año de 1796) cuando llevó a cabo su primera vacunación exitosa de un ser humano a otro. Jenner inoculó a un muchacho de ocho años de nombre James Phipps con material de una pústula de la mano de una lechera de nombre Sarah Nelmes, y de este modo este niño se hizo famoso en la misma forma que cerca de cien años más tarde lo sería Joseph Meister por ser el primero en recibir el tratamiento antirrábico de Pasteur.\* Este hecho se considera como el origen clásico de la vacunación, aun cuando como sucede con frecuencia en la historia de los

\* Meister permaneció en el Instituto Pasteur como conserje hasta la ocupación de París por los alemanes, en 1940, cuando se suicidó.

descubrimientos científicos, el mismo no ha sido claramente establecido. Por lo menos dos personas con anterioridad habían intentado lo mismo sin proseguir los trabajos. Jenner los continuó y en 1798 publicó su famoso *Inquiry*, en el cual informaba acerca de 23 casos de personas que habían sido vacunadas o contraído naturalmente la vacuna y quienes subsecuentemente mostraron ser inmunes a la viruela. Muy pronto, después de esta demostración, la vacunación fue aceptada por todo el mundo, a pesar de la severa oposición de algunos grupos. Jenner sufrió todo tipo de injurias, pero muy pronto recibió honores de todas partes del mundo.

Esta historia nos demuestra admirablemente lo difícil que es reconocer la verdadera significación de un hecho nuevo. De no conocerse la historia por completo, se podría suponer que el descubrimiento de Jenner fue una simple contribución a la ciencia médica que no ameritaba toda la fama que se le concedió. Pero ni John Hunter, ni ninguno de los colegas de Jenner, fueron capaces de comprender las potencialidades del descubrimiento, lo cual en oportunidades similares ha acontecido en otros países. Hubo un intervalo de treinta años antes de que Jenner, interesado en la creencia popular, llevara a cabo su clásico y crucial experimento. Esta incomprensión puede parecernos sorprendente hoy en día con nuestros conceptos presentes de inmunización y experimentación; pero no debe olvidarse lo revolucionario de la idea para la época, aun cuando la variolización era aceptada en la práctica. El simple hecho de que otros con las mismas oportunidades no descubrieran la vacunación y que la misma le llevara a Jenner treinta años, demuestra las dificultades inherentes. Los animales eran considerados con cierta repugnancia y, por supuesto, la idea de infectar a un ser humano con una enfermedad animal era repelente. Se profetizó todo tipo de malos agüeros,

incluyendo la *vacamania* y los niños con cara de buey (¡uno de ellos fue exhibido!).

Este descubrimiento, como muchos otros, no requería gran erudición, sino principalmente audacia e independencia mental para aceptar una idea revolucionaria e imaginación para apreciar sus potencialidades. Pero, además, Jenner tuvo también que superar dificultades de índole práctica. El encontró en las ubres de las vacas diversos tipos de úlceras, que aun cuando afectaba a los ordeñadores, no concedía inmunidad contra la viruela. Todavía los especialistas actuales tienen grandes dificultades para distinguir entre los diversos tipos de úlceras y la situación se complica más aún por observaciones que sugieren que un primer ataque de vacuna no confiere inmunidad al ganado, hecho este que Jenner tuvo oportunidad de notar.

El descubrimiento de Jenner también tuvo su toque irónico, el cual muy a menudo concede interés adicional a las anécdotas científicas. Los investigadores modernos creen que las cepas de vacuna que se utilizan hoy en día en todo el mundo no han derivado de vacuna, sino de viruela. Su origen es bastante oscuro, pero parece que en un principio y de algún modo, cepas de vacuna y viruela llegaron a mezclarse, con el desarrollo posterior de una cepa atenuada de viruela, la cual por equivocación se utilizó como de vacuna.

#### SUMARIO

Muy a menudo los nuevos conocimientos tienen su origen en alguna observación inesperada u ocurrencia casual que se produce durante una investigación. La importancia de este factor en los descubrimientos debe ser apreciada por completo y los investigadores deben explotarla

deliberadamente. Las oportunidades se presentan con mayor frecuencia a las personas dedicadas a trabajo activo y a quienes juguetean con ideas nuevas. La interpretación de los indicios y la comprensión de su importancia, requiere conocimientos sin idea fija, imaginación, gusto científico y el hábito de meditar acerca de todas las observaciones inexplicables.


## Capítulo Nº 4

# HIPOTESIS

*La primera obligación de las ideas en la ciencia es la de ser útiles e interesantes aún más que ser verdaderas.*

WILFRED TROTTER

## ILUSTRACIONES



Puede discutirse más efectivamente el papel que la hipótesis desempeña en la investigación, si primero consideramos algunos ejemplos de descubrimientos originados por hipótesis. La historia del viaje de Cristóbal Colón provee una de las mejores ilustraciones de este tipo de descubrimiento, ella tiene en sí muchas de las características del clásico descubrimiento científico. a) Colón estaba obsesionado por una idea, aquella de que si el mundo era redondo él podía llegar al Oriente navegando hacia el Oeste; b) La idea no era original, pero evidentemente, había obtenido pruebas adicionales de algún marino, quien navegando por accidente fuera de su curso mantenía haber encontrado tierra en el Oeste y logrado regresar; c) Encontró grandes dificultades no sólo en lograr que alguien patrocinara económicamente la comprobación de su idea, sino también en el acto de llevar a cabo el viaje experimental; d) Cuando finalmente tuvo éxito no encontró la nueva ruta esperada, pero en su lugar halló un nuevo mundo; e) A pesar de toda la evidencia contraria, se aferró a su hipótesis hasta el fin y creyó haber encontrado el cami-

no hacia el Oriente; f) Fue poco el reconocimiento que logró durante el resto de su vida y ni él ni los otros comprendieron por completo las implicaciones de su descubrimiento; g) Desde esa época se han presentado evidencias mostrando que no fue Colón el primer europeo en llegar a la América.

En sus primeras investigaciones sobre la difteria, Löffler demostró que en aquellos animales de experimentación que morían después de ser inoculados con el bacilo diftérico, la bacteria se mantenía localizada en el sitio de la inoculación. El sugirió que la muerte era causada por una toxina producida por la bacteria. Prosiguiendo esta hipótesis, Emile Roux, llevó a cabo numerosos experimentos con el objeto de demostrar la presencia de la toxina en los cultivos bacterianos sin que pudiera mostrarlo a pesar de todos sus intentos. Sin embargo, Roux persistió en su convicción y finalmente en su desesperación inoculó la heroica dosis de 35 cc de filtrado de cultivo en un acure. Sorprendentemente, el acure sobrevivió la inoculación de este volumen de fluido y a su debido tiempo Roux tuvo la satisfacción de ver que el animal moría mostrando lesiones de intoxicación diftérica. Una vez establecido este punto, Roux fue capaz de darse cuenta de que todas sus dificultades se debían a que los cultivos no se incubaban el tiempo suficiente para producir toxina, y prolongando este tiempo consiguió producir filtrados altamente tóxicos. Este descubrimiento condujo a la inmunización contra la difteria y al uso terapéutico del suero antidiftérico.<sup>10</sup>

De acuerdo con su hipótesis de que los impulsos pasaban a lo largo de los nervios simpáticos y provocaban cambios químicos, los cuales producían calor en la piel, Claude Bernard cortó el nervio simpático cervical de un conejo con la esperanza de producir enfriamiento de la oreja del animal. Fue una sorpresa para él, cuando la

oreja de ese lado del animal aumentó de temperatura. Bernard había separado los vasos sanguíneos de la oreja de la influencia nerviosa que normalmente los mantiene contraídos moderadamente, con el resultado de un mayor flujo sanguíneo y el consiguiente aumento de calor. Sin darse cuenta de lo que había pasado, había tropezado con el hecho de que el flujo sanguíneo a través de las arterias es controlado por los nervios, uno de los más importantes adelantos en el conocimiento de la circulación desde el descubrimiento clásico de Harvey. Una ilustración muy interesante e importante de lo que a menudo sucede en el campo de la observación, lo provee la afirmación de Bernard de que desde 1841 se había cortado repetidas veces el cervical sin haber logrado observar nunca el fenómeno antes expuesto hasta 1851. En los primeros experimentos él había dirigido su atención hacia la pupila y sólo cuando buscó los cambios en la cara y oreja fue capaz de observarlos.<sup>44</sup>

El mismo Claude Bernard razonaba que la secreción de azúcar por el hígado debía estar controlada por el nervio apropiado, el cual, suponía era el vago. Por consiguiente, trató de perforar el origen del nervio en el cuarto ventrículo y encontró que la función glicogénica del hígado aumentaba grandemente y que el azúcar sanguíneo se elevaba tanto que aparecía en la orina. A pesar de lo interesante e importante de los resultados obtenidos, Bernard se dio cuenta de que la hipótesis en la cual se fundamentaban los experimentos era falsa, pues el mismo efecto se obtenía aun después de que el vago había sido cortado. De nuevo demostró su capacidad para abandonar el razonamiento original y proseguir la nueva pista. Al contar esta historia decía:

"Nunca debemos dejarnos absorber demasiado por los pensamientos que perseguimos".

Esta investigación tiene también interés desde otro punto de vista. Después del éxito inicial logrado al producir diabetes mediante la perforación del cuarto ventrículo, Bernard encontró muchas dificultades al tratar de repetir el experimento y sólo lo logró cuando adquirió la técnica exacta necesaria. Indudablemente que fue afortunado al lograr buenos resultados con el primer intento, pues de otra manera habría abandonado la idea después de dos o tres fracasos.

"Deseamos extraer de este experimento otra conclusión general... los hechos negativos cuando se consideran por sí solos nunca nos enseñan nada. Cuán a menudo debe el hombre haber estado equivocado y aun estarlo de esta manera. Aún más, parece absolutamente imposible evitar este tipo de equivocación".<sup>15</sup>

Hacia el final del siglo pasado no se sabía nada acerca de la naturaleza y causa de la condición conocida como fiebre de la leche en las vacas. No existía ningún tratamiento y muchos animales valiosos morían de lo mismo. Un médico veterinario de nombre Schmidt, en Kolding, Dinamarca, sugirió la hipótesis de la autointoxicación debida a la absorción de "corpúsculos de calostro y viejas células epiteliales degeneradas" de la ubre. Por lo tanto, y con el objeto de "detener la formación de calostro y paralizar cualquier veneno existente", él trataba los casos mediante la inyección de solución de yoduro de potasio en las ubres. Al principio mantenía que la penetración de una pequeña cantidad de aire dentro de la ubre era benéfica porque ayudaba la liberación del yodo. El tratamiento tuvo un éxito sorprendente. Más tarde consideró que la inoculación de cantidades copiosas de aire junto con la solución, era una parte importante del tratamiento, ya que, según él, el aire hacía posible el contacto de la solución con todas las partes de la ubre. El

tratamiento fue adoptado ampliamente y modificado de diversas maneras hasta que al fin se halló que la inoculación de aire sólo era igualmente efectiva. Este tratamiento basado en una idea falsa se convirtió en práctica rutinaria veinticinco años antes de que el proceso bioquímico relacionado con la enfermedad de la leche fuera dilucidado; más aún, la causa básica de la enfermedad no se ha comprendido aún, tampoco sabemos por qué la inyección de aire cura la enfermedad.<sup>81,82</sup>

Una hipótesis puede ser fructífera, no sólo para sus proponentes si no, aún más, para conducir a otros a nuevos avances. Wassermann afirmaba que su descubrimiento de la prueba de fijación de complemento lo había hecho posible la teoría de las cadenas laterales de Ehrlich. Además, el desarrollo de la prueba de Wassermann tiene otro aspecto interesante. Como no le fue posible obtener un cultivo de la espiroqueta causante de la sífilis, utilizó como antígeno un extracto de hígado de niños heredo-sifilíticos mortinatos, los cuales contenían un gran número de espiroquetas. Este antígeno dio buenos resultados pero más tarde se comprobó que no sólo no era necesario el uso de hígado sifilítico, sino que a partir de órganos normales también podían prepararse buenos antígenos. Todavía hoy en día no es muy seguro por qué estos antígenos dan una reacción de complemento que pueda utilizarse para diagnosticar la sífilis y sólo una cosa es cierta: que la idea que llevó a Wassermann a utilizar extracto de hígado era completamente fortuita. Pero como aún no tenemos una explicación satisfactoria, probablemente tampoco tendríamos una prueba serológica para el diagnóstico de la sífilis de no haber sido por la idea falsa pero fructífera de Wassermann.

El establecimiento de la quimioterapia se debió a la idea de Ehrlich de que dado que algunos colorantes tenían selectivamente a las bacterias y protozoarios, podrían

encontrarse algunas sustancias, que también selectivamente, serían absorbidas por los parásitos y causar su muerte sin provocar daños al huésped. Su fe en esta idea lo capacitó para persistir, a pesar de las continuas frustraciones, fracasos repetidos y las tentativas de sus amigos de disuadirlo para continuar lo que aparentemente era una labor sin esperanza. No tuvo ningún éxito hasta que encontró que el rojo tripán tenía alguna actividad contra protozoarios y prosiguiendo a lo largo de este hallazgo logró desarrollar el salvarsán, un compuesto arsenical terapéuticamente efectivo contra la sífilis y el cual era el número 606 de la serie de sustancias probadas. Tal vez éste es el mejor ejemplo, en la historia de la lucha contra las enfermedades, del triunfo de la fe en una hipótesis sobre dificultades al parecer insuperables. Sería satisfactorio terminar la historia en este punto, pero como a menudo acontece en la ciencia, la nota final es una nota irónica. La idea guiadora de Ehrlich era incorrecta. Su hipótesis de que las drogas actúan por absorción selectiva en el organismo patógeno, del mismo modo que un colorante en un tejido, no tiene lugar en los conceptos modernos sobre el modo de acción de las drogas.

Sin embargo, la historia no termina aún. Gerard Domagk, influenciado por el trabajo inicial de Ehrlich, trató de comprobar los efectos de un gran número de colorantes pertenecientes al grupo azo, al cual pertenecía el rojo tripán utilizado por Ehrlich. En 1932, encontró un colorante de esta serie, el prontosil, el cual era terapéuticamente efectivo contra el estreptococo sin dañar el animal afectado. Este descubrimiento marcó el comienzo de una nueva era en la Medicina. Pero cuando el químico francés Trefouël comenzó a analizar la composición de la droga, se quedó atónito al comprobar que su acción no se debía al hecho de ser un colorante, sino a que contenía sulfanilamida, la cual no es un colorante. De nuevo

la falsa idea de Ehrlich había conducido a un descubrimiento que se puede describir como milagroso. La sulfanilamida era conocida desde 1908, pero nadie tenía razón para sospechar sus propiedades terapéuticas. Se ha dicho que de conocerse sus propiedades, la sulfanilamida podría haber salvado 750.000 vidas sólo en la guerra de 1914-1918.<sup>8</sup> También se dice que el trabajo inicial de Ehrlich fue el punto de partida que condujo al descubrimiento de la droga antimalárica atebtrina, sin la cual tal vez, los aliados no habrían ganado la guerra del Pacífico.

Otro grupo de sustancias quimioterapéuticas que fueron desarrolladas siguiendo una hipótesis, es el del grupo diamidina, usada contra la Leishmania causante del Kala-azar. La idea inicial de la investigación fue interferir con el proceso metabólico normal del parásito, especialmente con su metabolismo de glucosa, mediante el uso de ciertos derivados de insulina. Uno de estos, sintalina, se encontró que poseía acción leishmanicida notable, pero en diluciones mucho mayores que las necesarias para interferir con el metabolismo de la glucosa. De este modo, aun cuando la hipótesis era errada, condujo al descubrimiento de un grupo nuevo de drogas útiles.<sup>104</sup>

En ciertas partes de Gran Bretaña y Australia ocurre una enfermedad de las ovejas conocida con el nombre de "swayback", la causa de la cual desconcertó a los investigadores durante muchos años. H. W. Bennetts, en Australia, sospechó que la enfermedad se debía a intoxicación por plomo. Para comprobar su hipótesis, trató a las ovejas con cloruro de amonio, el cual es un antídoto para el plomo. La primera prueba con este tratamiento dio resultados promisorios, los cuales, sin embargo, no fueron soportados por las pruebas subsiguientes. Esto sugirió que la enfermedad podía ser debida a alguna deficiencia mineral, el cual estaba presente en

pequeñas cantidades en el primer lote de cloruro de amonio utilizado. Prosiguiendo este indicio, Bennetts comprobó que la enfermedad se debía a una deficiencia de cobre, deficiencia no reconocida hasta entonces como capaz de producir enfermedad en ningún animal. Según las propias palabras de Bennetts:

"El conocimiento de la etiología de esta enfermedad en Australia provino de un indicio accidental, el cual a su vez resultó al tratar de comprobar una falsa hipótesis".<sup>14</sup>

#### USO DE LA HIPOTESIS EN INVESTIGACION

La hipótesis es la técnica mental más importante del investigador y su función principal consiste en sugerir nuevos experimentos u observaciones. De hecho, la mayoría de los experimentos y muchas observaciones se llevan a cabo con el deliberado propósito de comprobar una hipótesis. Otra de sus funciones es la de ayudarnos a ver la significación de un objeto o evento que de otro modo no tendría ninguna. Por ejemplo, una mente acondicionada por la hipótesis de la evolución, llevará a cabo mayor número de observaciones significantes en un trabajo de campo que otra no preparada. Las hipótesis no deben ser fines en sí mismas, sino utilizarse como medios para descubrir nuevos hechos.

Los ejemplos expuestos anteriormente, muestran algunas de las maneras cómo las hipótesis conducen a nuevos descubrimientos. Lo primero que llama la atención es el hecho de que una hipótesis puede ser algunas veces muy productiva sin necesidad de ser correcta, punto éste que no escapó a la atención de Francis Bacon. Varios de estos ejemplos han sido seleccionados como demostraciones conspicuas de este punto y no debe pensarse que representan a la hipótesis como un todo, pues las con-

jeturas correctas tienen mayor oportunidad de ser productivas que aquellas que no lo son y el hecho de que estas últimas sean útiles algunas veces, no se opone a la importancia que tiene el tratar de conseguir las explicaciones correctas. Sin embargo, los ejemplos expuestos son prácticos por el hecho de que la gran mayoría de las hipótesis son incorrectas.

Cuando los resultados de un primer experimento o conjunto de observaciones están de acuerdo con lo esperado, el experimentador por lo general todavía necesita más evidencias experimentales antes de poder tener confianza en su idea. Aun después de confirmada por varios experimentos la hipótesis puede considerarse como verdadera sólo para las condiciones bajo las cuales se efectuaron las pruebas. Algunas veces eso es todo lo que el experimentador exige, porque de ese modo él obtiene una solución para el problema inmediato o una hipótesis de trabajo sobre la cual basar las investigaciones posteriores del problema particular. Otras veces, el valor de la hipótesis consiste en ser un punto de partida del cual salen varias líneas de investigación y se aplica a tantos casos particulares como sea posible. Si la hipótesis se mantiene bajo todas las circunstancias, puede ser elevada a la categoría de teoría y aún más, si es suficientemente profunda, se considera como una ley. Una hipótesis que sea una generalización no puede ser absolutamente comprobada tal como se explica en el capítulo que trata de la Razón; pero en la práctica se acepta si ha logrado resistir una comprobación crítica, especialmente si está de acuerdo con la teoría científica general.

Cuando los resultados de los experimentos u observaciones primarias no logran demostrar la hipótesis, en lugar de abandonarla, algunas veces estos hechos contrarios observados, pueden ser explicados por una hipótesis subsidiaria. Este proceso de modificación puede prolon-

garse hasta que la hipótesis principal llegue a sobrecargarse ridículamente con adiciones *ad hoc*. El punto en el cual se alcanza esta etapa, es principalmente materia de juicio o gusto personal. Al llegar a él, toda la construcción se destruye y se reemplaza por otra, capaz de hacer de todos los hechos observados una síntesis más aceptable.

Existe el dicho muy interesante de que nadie cree en una hipótesis sino su iniciador; pero todos creen en un experimento excepto el experimentador. La mayoría de las personas están prontas a creer en algo basado en experimentos pero el investigador conoce todos los detalles que han podido estar errados en el experimento. Por esta razón, el descubridor de algo nuevo, raras veces se siente tan seguro como las personas ajenas al experimento. Por otra parte, la mayoría de las personas mantienen una actitud de crítica ante una hipótesis mientras su iniciador se identifica con la misma y está propenso a convertirse en su devoto. Es conveniente recordar esto al discutir las sugerencias de alguien, porque se corre el peligro de ofenderlo y desanimarlo si se hace burla de la idea. Un corolario para esta observación de que una hipótesis es una materia muy personal, está dado por el hecho de que los científicos trabajan mucho mejor cuando prosiguen sus propias hipótesis y no las de otros. Es el iniciador quien obtiene la satisfacción personal y la mayor parte del reconocimiento si su idea se comprueba ser correcta, aun cuando él mismo no haga el trabajo. Un hombre que trabaja en una hipótesis que no sea suya, muy a menudo la abandona después de una o dos pruebas negativas, porque le falta el deseo sincero de confirmarla, lo cual es necesario para impulsarlo a llevar a cabo un trabajo difícil y minucioso, incluyendo todas las maneras posibles de variar las condiciones de experimentación. Sabiendo esto, un buen director de investigación tra-

ta de hacer que sus experimentadores sugieran sus propias líneas de investigación y las sientan como ideas propias.

#### PRECAUCIONES EN EL USO DE LAS HIPOTESIS

a) *No aferrarse a ideas inútiles.* La hipótesis es un instrumento que puede causar trastornos si no se usa apropiadamente. Debemos estar preparados para abandonar o modificar nuestra hipótesis tan pronto como demuestre que es inconsistente con los hechos. Esto no es tan fácil como parece. Cuando nos deleitamos en la forma que el precioso hijo de nuestro cerebro parece explicar diversos hechos, al parecer incongruentes, y nos ofrece promesas de avances posteriores, estamos tentados a pasar por alto cualquier observación que no encaje en la trama o tratamos de olvidarla. No es raro que los investigadores se aferren a sus hipótesis rotas, volviéndose ciegos a toda evidencia contraria, y no es poco frecuente que ellos deliberadamente supriman resultados contrarios. Si los resultados u observaciones experimentales son opuestos definitivamente a nuestras hipótesis o si necesitan hipótesis subsidiarias demasiado complicadas o improbables para acomodarlas, lo mejor es olvidarse de la idea con el menor pesar posible. Es más fácil abandonar una vieja hipótesis, si se puede encontrar una nueva para reemplazarla. La sensación de frustración también desaparece.

Fue una característica tanto de Darwin como de Bernard, que siempre estaban prestos a abandonar o modificar cualquiera de las hipótesis tan pronto como comprobaban que no se ajustaban a los hechos observados. Al científico que posee una mente fértil y es rico en ideas no le es tan difícil abandonar cualquier idea que se pruebe insatisfactoria, como al que tiene pocas ideas. Es este último quien se encuentra en mayor peligro de perder tiempo apegándose a su creencia después que los hechos le exigen abandonarla. Zinsser, pintorescamente



comparaba a las personas apegadas a las ideas estériles con gallinas incubando huevos salcochados.

Por otra parte, tener fe en las hipótesis y perseverancia para comprobarlas es muy deseable, como se ha demostrado en los ejemplos relativos a Roux y Ehrlich. Del mismo modo, Faraday persistió con su idea, a pesar de los repetidos fracasos, antes de tener éxito al producir corriente eléctrica mediante un magneto. Tal como Bernard había observado, los resultados negativos no significan mucho. Existe una gran diferencia entre: a) Testaruda adhesión a una idea que no se pueda mantener a la luz de la evidencia contraria, y b) Perseverancia con una hipótesis difícil de demostrar pero contra la cual no existe evidencia directa. Toca al investigador juzgar cada caso con despiadada imparcialidad. Sin embargo, aun cuando los hechos encajen en la segunda categoría, puede llegar un momento en que no se haga ningún progreso, en cuyo caso lo mejor es abandonar la tentativa, por lo menos temporalmente. La hipótesis puede ser perfectamente válida pero las técnicas o conocimientos en los campos relacionados con ella y requeridos para su verificación pueden no estar aún desarrollados. Algunas veces, un proyecto se aparta durante algunos años y se comienza de nuevo al poseer conocimientos más apropiados o al ocurrírsele al investigador un nuevo enfoque.

b) *Disciplina intelectual de subordinar las ideas a los hechos.* Un peligro potencial contra el cual siempre debe estarse en guardia consiste en que tan pronto como formulamos una hipótesis, cierta afección paternal tiende a influenciar nuestras observaciones, interpretaciones y juicios; se comienza a "pensar como se desea" Claude Bernard decía:

"Aquellas personas que tienen fe excesiva en sus teorías o ideas, no sólo están mal preparadas para efectuar descubrimientos, sino aún más, son pobres observadores."

A menos que los experimentos y observaciones se lleven a cabo tomando todas las precauciones posibles, los resultados pueden estar inconscientemente influenciados. Nada menos que un investigador de la categoría de Gregorio Mendel parece haber caído en esta trampa, pues Fisher<sup>38</sup> ha mostrado que sus resultados fueron influenciados por sus esperanzas. El zoólogo alemán Gatke estaba tan convencido de sus ideas acerca de las altas velocidades que las aves eran capaces de lograr que informó, en apoyo de sus creencias observaciones acerca de algunas aves que volaban seis kilómetros por minuto. Sin embargo, se cree que fue sincero pero permitió que sus creencias lo condujeran a efectuar observaciones falsas.<sup>46</sup>

La mejor protección contra esta tendencia, consiste en cultivar el hábito de subordinar nuestras opiniones y deseos a la evidencia objetiva y respetar todas las cosas por su valor real, y sobre todo recordar constantemente que una hipótesis es sólo una suposición. Tal como Thomas Huxley decía elocuentemente:

"Mi preocupación es enseñar a mis aspiraciones a conformarse con los hechos, no intentar que los hechos armonicen con mis aspiraciones. Siéntese delante de un hecho como un niño, esté listo para abandonar cualquier noción preconcebida, siga humildemente dondequiera lo lleve la naturaleza, o no aprenderá nada".

Una medida interesante de seguridad, es la sugerida por Chamberlain,<sup>38</sup> o sea, el principio de las hipótesis múltiples en la investigación. Era su idea que durante una investigación se debían inventar y conservar en la mente tantas hipótesis como fuera posible. Este estado mental debería incitar al investigador a observar hechos relativos a cada hipótesis y al mismo tiempo conceder significación a hechos al parecer triviales. Sin embargo, dudo que este método sea a menudo practicable. Lo co-

mún en la práctica es la sucesión de hipótesis, en la cual se selecciona primero la hipótesis más probable para probarla, y si se encuentra que no satisface se pasa a otra.

Cuando Darwin encontraba cualquier dato desfavorable para sus hipótesis los anotaba especialmente, porque sabía que este tipo de información era más propenso a ser olvidado que los hechos favorables.

c) *Examen crítico de las ideas.* No debemos apresurarnos a aceptar cualquier conjetura que se nos ocurra; éstas deben ser sometidas al más cuidadoso de los escrutinios antes de adoptarlas, aun como una hipótesis tentativa, porque una vez que se ha formado una opinión es mucho más difícil pensar en las alternativas. El principal peligro radica, en que la idea es tan "obvia" que se acepta casi sin discusión. Por ejemplo, parecía muy razonable en casos de cirrosis del hígado, descansar ese órgano tanto como fuera posible, manteniendo una dieta baja en proteínas, pero las investigaciones recientes han demostrado que es precisamente esto lo que no debe hacerse, porque este tipo de dieta puede por sí mismo, causar daño al hígado. Nadie discutió la práctica de descansar las coyunturas lesionadas, hasta que hace unos pocos años alguien descubrió que mejoraban más rápidamente bajo un régimen de ejercicio.

d) *Evitar los conceptos erróneos.* Hemos copiado algunos ejemplos demostrando cómo las hipótesis pueden ser fecundas aun cuando sean erradas; pero, sin embargo, la gran mayoría deben ser abandonadas por inútiles. Mucho más serio es el hecho de la sobrevivencia de falsas hipótesis o conceptos, los cuales no sólo no son productivos sino muchas veces responsables de detener el avance de la ciencia. Dos de estos ejemplos son: la creencia

de que todo metal contenía mercurio, y la doctrina del flogisto. De acuerdo a esta última, toda sustancia combustible contenía un principio denominado flogisto, el cual se desprendía al quemarse la sustancia. Esta noción frenó durante mucho tiempo el adelanto de la química y se atravesó en el camino de la comprensión de los fenómenos de combustión, oxidación, reducción y otros procesos. Finalmente, en 1778, Lavoisier demostró que este concepto era una falacia, a pesar de lo cual grandes científicos ingleses como Priestley, Watt y Cavendish, se aferraron por algún tiempo a la vieja idea, y Priestley, para el momento de su muerte, en 1804, no había sido convertido a la nueva creencia.

Desenmascarar este tipo de engaños puede ser de tanto valor para el avance de la ciencia como los descubrimientos creativos. Pasteur combatió y conquistó la creencia en la generación espontánea y Hopkins el concepto semimístico del protoplasma como una molécula gigante. Los conceptos errados en la medicina además de entorpecer el adelanto, han sido la causa de muchos daños y sufrimientos inútiles. El famoso médico de Filadelfia, Benjamin Rush (1745-1813) nos legó un ejemplo de uno de los tratamientos que utilizaba:

"De un inglés recién llegado extraje 144 onzas en doce sangrías durante seis días, cuatro de ellas en 24 horas. Durante el mismo lapso de seis días le administré casi 150 gramos de Calomel y las cantidades usuales de jalapa y gomaguta".<sup>66</sup>

Una vez que las ideas han obtenido crédito son difíciles de abandonar simplemente porque se encuentren algunos hechos contrarios. Las ideas falsas sólo se abandonan cuando se adelantan hipótesis más acordes con los nuevos hechos.

## SUMARIO

La hipótesis es el principal instrumento intelectual en la investigación. Su función consiste en indicar nuevos experimentos y observaciones y, por consiguiente, muchas veces conduce a nuevos descubrimientos aun cuando ella misma no sea correcta.

Debemos resistir la tentación de atarnos demasiado a nuestras hipótesis, debiendo juzgarlas objetivamente y modificarlas o prescindir de ellas tan pronto como se encuentre cualquier evidencia contraria. Se necesita vigilancia constante para impedir que las observaciones e interpretaciones sean desfiguradas en favor de la hipótesis. Las suposiciones deben utilizarse sin creerse.

## Capítulo Nº 5

# IMAGINACION

*Si se poseen observaciones y experimentos precisos como base de trabajo, la imaginación se convierte en el arquitecto de la teoría física.*

TYNDALL

### EL PENSAMIENTO CREADOR

Este capítulo y el próximo contienen una breve discusión acerca del modo cómo las ideas se originan en la mente y las condiciones favorables para el esfuerzo mental creador. El examen crítico de los procesos concernientes será hecho más fácilmente si, como en otras partes de este libro, divido arbitrariamente, lo que realmente es una sola materia. Por consiguiente, gran parte del material de este capítulo debería ser considerado al tratar de la intuición y del mismo modo gran parte del próximo capítulo podría aplicarse a la imaginación.

Dewey divide el pensar consciente en las siguientes fases. Primero, el estímulo es provisto por el conocimiento de algún problema o dificultad. A esto sigue la sugerencia de una solución que brota en la mente consciente. Sólo entonces la razón entra en juego para aceptar o rechazar la idea. Si la idea es rechazada, nuestra mente regresa a la etapa previa y el proceso se repite. Lo realmente importante es que la ocurrencia de las ideas no es un acto deliberado o voluntario, es algo que nos acontece y no algo que hacemos.<sup>29</sup>

Por lo común, al pensar, las ideas se nos "ocurren" continuamente de ese modo, para enlazar los pasos del razonamiento, y estamos tan acostumbrados a este proceso que casi no nos damos cuenta de él. Generalmente, las nuevas ideas o asociaciones resultan de pensamientos inmediatamente precedentes, los cuales evocan asociaciones que ya han sido desarrolladas en la mente mediante la educación o experiencia pasada. Sin embargo, en ocasiones relampaguea en la mente alguna idea original, la cual no se basa en asociaciones pasadas o por lo menos en asociaciones aparentes a primera vista. Podemos percibir súbitamente por primera vez la conexión existente entre varias cosas o ideas o también dar un gran paso de avance en lugar de los cortos pasos comunes, donde las relaciones entre pares o conjunto de ideas están bien establecidos y "son obvios". Estas progresiones súbitas ocurren no sólo cuando estamos tratando de resolver el problema conscientemente sino también, y no es poco común, cuando no estamos pensando en nada en particular o, aún más, cuando nos encontramos ligeramente ocupados en algo diferente; y en esas ocasiones, las ideas nos causan sorpresa. Aunque probablemente no existe diferencia fundamental entre estas ideas y aquellas que se nos ocurren rutinariamente y no es posible trazar ninguna distinción entre ambos tipos, es conveniente considerarlas por separado en el próximo capítulo bajo el título de "intuiciones". En esta sección llamaremos la atención hacia algunos caracteres generales del pensar productivo o creador.

Dewey establece diferencia entre lo que él denomina "pensar reflexivo", es decir, la consideración ordenada y consecutiva de un tema en la mente y el libre curso de las ideas en la cabeza. Tal vez, el mejor término para denominar este último proceso es el de "ensueño", el cual, como veremos después, también tiene sus aplicaciones. Pero, el pensar puede ser reflexivo y, sin embargo,

ineficiente. El pensador puede no ser muy discriminativo con las ideas que se le ocurren y estar siempre listo a sacar conclusiones rápidas por impaciencia o pereza. Dewey mantiene que muchas personas no pueden tolerar un estado de duda, bien sea porque no resisten el malestar mental o porque lo consideran como una evidencia de inferioridad.

"Para lograr ser verdaderamente pensante debemos estar dispuestos a mantener y prolongar ese estado de duda, que es el estímulo de la completa búsqueda, de tal modo que no se acepte una idea o se haga la afirmación de una creencia hasta encontrar razones justificadas".<sup>29</sup>

Probablemente, la característica principal del pensador educado es que no se precipita a sacar conclusiones con insuficiente evidencia, como lo hace el hombre no adiestrado propiamente.

No es posible crear ideas deliberadamente como tampoco controlar su creación. Cuando la mente es estimulada por cualquier dificultad, las soluciones se sugieren casi automáticamente en el consciente. La variedad y calidad de las sugerencias son una función de la preparación de la mente, debido a las especulaciones pasadas y a la educación pertinente al problema en particular. Lo que sí podemos hacer voluntariamente es preparar nuestra mente para este proceso, dirigir voluntariamente nuestros pensamientos a cualquier problema en particular, mantener la atención en el mismo y sopesar las diversas sugerencias que nos ofrezca el subconsciente. El elemento intelectual en el pensar, según Dewey, consiste en lo que hacemos con las sugerencias después que éstas se manifiestan.

En igualdad de condiciones, mientras mayores sean nuestros conocimientos, más probabilidades existirán de que se produzcan combinaciones importantes. Además,

las combinaciones originales tienen mayor oportunidad de producirse si se cuenta con conocimientos que se extienden a campos de la ciencia relacionados o aun distantes del que se cultiva. El doctor E. L. Taylor dice:

"Las nuevas ideas y asociaciones son más propensas a producirse a partir de un acopio variado de recuerdos y experiencias, que no cuando éstas son de un solo tipo".<sup>60</sup>

Aquellos científicos que han llevado a cabo contribuciones originales, muy a menudo han tenido variados intereses o se han dedicado al estudio de materias diferentes de aquellas en la cual fueron educados originalmente. Frecuentemente, la originalidad consiste en hallar analogías entre dos o más materias o ideas cuyas conexiones no se habían mostrado previamente. Cuando se buscan ideas originales es aconsejable algunas veces abandonar el método del pensamiento controlado aconsejado por Dewey, y dejar que la imaginación camine libremente. Harding dice que todos los pensadores creativos son soñadores y define el ensueño con las siguientes palabras:

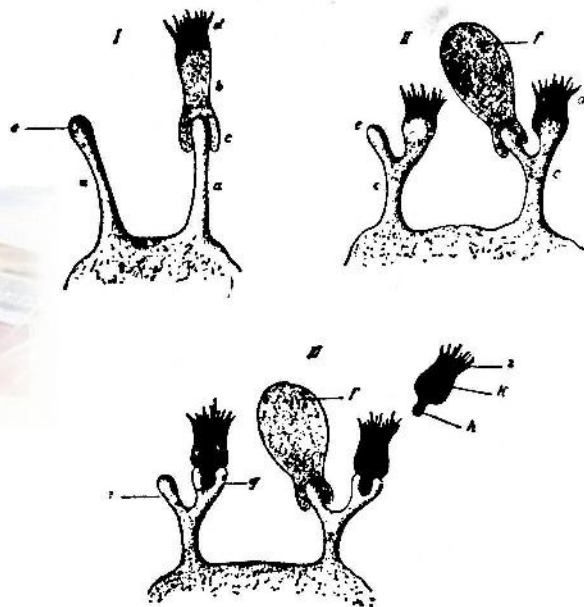
"Soñar acerca de cualquier asunto es muy simple... dejar que la mente se enfoque pasivamente en la materia de tal modo que siga los pensamientos a medida que estos brotan, frenarlos sólo cuando no tienen importancia, pero en general permitirles que se formen y ramifiquen naturalmente hasta que ocurra algún resultado útil e interesante".<sup>51</sup>

Max Planck decía:

"Repetidas veces el plan imaginario sobre el cual intentamos construir algo se viene abajo y entonces tenemos que diseñar otro. Tanto esta visión imaginativa como la fe en el resultado final son indispensables. El racionalista puro no tiene lugar aquí".<sup>70</sup>

Al meditar de esta manera, muchas personas se dan cuenta de que el visualizar los pensamientos tratando de

formar imágenes mentales, estimula a la imaginación. Se dice que Clerk Maxwell logró desarrollar el hábito de hacer un retrato mental de cada problema. Paul Ehrlich fue otro que abogaba grandemente por la representación gráfica de las ideas, lo cual puede notarse en su representación de la teoría de los receptores. El análisis pic-



Teoría de Ehrlich de los receptores laterales

tórico puede jugar una parte importante en el pensamiento científico. Tal fue el modo cómo el químico alemán Kekulé logró obtener el concepto del anillo benzeno, una idea que revolucionó la Química Orgánica.

El nos cuenta cómo estaba sentado en su silla, escribiendo su texto de química:

"Pero no iba bien, mi espíritu estaba en otras cosas.

Di vuelta a la silla hacia la chimenea y me quedé semi-dormido. Los átomos revoloteaban ante mis ojos. Largas filas, variados, más juntos ahora, unidos; todo en movimiento, entrosándose y girando como serpientes y de repente, ¿qué era eso? Una de las serpientes mordía su propia cola y la imagen giraba burlescamente ante mis ojos. Como si hubiera sido sorprendido por un relámpago desperté, el resto de la noche lo ocupé deduciendo la consecuencia de la hipótesis... Caballeros, aprendamos a soñar".<sup>56</sup>

Sin embargo, la Física ha alcanzado una etapa donde ya no es posible visualizar analogías mecánicas que representen fenómenos los cuales sólo pueden ser expresados en términos matemáticos.

Al estudiar las enfermedades infecciosas, puede ser útil adherirse al punto de vista biológico, tal como lo ha hecho Burnet, y mirar a los organismos causales como especies diferentes luchando por la sobrevivencia, o también tal como Zinsser ha hecho con el tifus, al cual ha dedicado una vida de estudio, pero escenificando la enfermedad en su imaginación.

Un aliciente muy importante para tratar de obtener generalizaciones, especialmente en el campo de la física y de las matemáticas, es el gusto hacia las conexiones lógicas y ordenadas entre todos los hechos. Según Einstein:

"No existe manera lógica de descubrir las leyes elementales, sólo existe el camino de la intuición, la cual es ayudada por el presentimiento del orden que existe detrás de las apariencias".<sup>55</sup>

W. H. George hace notar que en un observador se produce una sensación de tensión cuando los objetos si-

tuados en su campo de visión se ven como si formaran un conjunto ordenado con una brecha entre ellos y que de igual manera esta sensación logra ser satisfactoria cuando esa brecha se cierra y todas las partes del conjunto caen en sus lugares respectivos. Podemos considerar las generalizaciones como un molde de ideas.<sup>47</sup> Otro fenómeno que puede explicarse mediante este concepto es el de la satisfacción que se experimenta cuando llevamos a cabo o terminamos cualquier labor. Bien puede ser que esta sensación no esté asociada con ninguna consideración de obtener una recompensa, porque la misma se aplica a aquellas tareas que nos hemos impuesto y que no poseen importancia real, tales como resolver un crucigrama, escalar una colina o leer un libro. La instintiva sensación de desagrado que experimentamos cuando alguien no está de acuerdo con nosotros, o cuando algún hecho contrario a nuestras creencias surge de repente, puede ser debido a que se rompe el conjunto o modelo que nos habíamos formado. Esta tendencia de la mente humana hacia el ordenamiento de todas las cosas, no escapó a la inteligencia penetrante de Francis Bacon. El nos previno contra el peligro de que estas tendencias nos pudieran conducir a creer en la existencia de un grado mayor de orden e igualdad que el que realmente existe.

Una vez que se ha logrado tener una nueva idea debe juzgársela. La razón basada en los conocimientos es, por lo general, suficiente para este juicio en los asuntos rutinarios y en las materias correctas de la ciencia; pero, muy a menudo, en la investigación no existe información suficiente como para razonar efectivamente. Aquí uno debe retrotraerse a los "presentimientos" o "gustos". Según Harding:

"Si el científico se ha dedicado durante toda su vida a la observación cuidadosa, si se ha educado en la búsqueda de las analogías y posee conocimientos de impor-

tancia, entonces el «instrumento del presentimiento»... se convertirá en una varita mágica... en la ciencia creativa el presentimiento desempeña un importante papel".<sup>51</sup>

Al escribir sobre la importancia de la imaginación en la ciencia, decía Tyndall:

"El paso que dio Newton al derivar de la caída de una manzana, el movimiento lunar fue el acto de una imaginación preparada. A partir de los hechos de la química, la imaginación constructiva de Dalton, elaboró la teoría atómica. Davy estaba provisto de una rica imaginación; mientras que en Faraday el ejercicio de la misma era incesante, precediendo, acompañando y guiando todos sus experimentos. Tanto su poder como su fertilidad como investigador, debe adjudicarse en gran parte al estímulo de la imaginación".<sup>52</sup>

La imaginación es de gran importancia, no sólo porque nos conduce hacia nuevos hechos, sino también porque nos estimula hacia nuevos esfuerzos al capacitarnos para avizorar las posibles consecuencias de los mismos. Tanto las ideas como los hechos son inanimados por sí mismos y es la imaginación quien les concede vida. Pero los sueños y las especulaciones son simples fantasías a menos que la razón los guíe hacia algún propósito útil. Las ideas vagas capturadas en esos vuelos caprichosos deben ser reducidas a proposiciones e hipótesis específicas.

#### FALSOS SENDEROS

Mientras que la imaginación es fuente de inspiración cuando buscamos nuevos conocimientos, puede también ser peligrosa si no está disciplinada; una imaginación fértil necesita ser balanceada mediante la crítica y el juicio; esto es muy diferente a preconizar que debe ser suprimida o aplastada. La imaginación simplemente nos capacita para vagar en la sombra de lo desconocido, donde

ayudados por la tenue luz que nos presta nuestros conocimientos podemos vislumbrar algo que nos parezca interesante. Pero muy a menudo, cuando ese algo lo llevamos a la luz y lo examinamos con más detenimiento, notamos que sólo era basura cuyo brillo había llamado nuestra atención. Las cosas que no vemos claramente a menudo toman formas grotescas. La imaginación es al mismo tiempo la fuente de todas las esperanzas e inspiraciones y la causa de todas las frustraciones. Olvidar esto es cortejar el desengaño.

Cualquiera que fuera su origen, la mayoría de las hipótesis comprueban ser incorrectas. Faraday escribió:

"El mundo sabe poco de los tantos pensamientos y teorías que han pasado por la mente de un investigador científico y han sido aplastados en silencio y secreto por su crítica severa y examen adverso; tampoco sabe que en los casos afortunados ni siquiera una décima parte de las sugerencias, esperanzas, deseos o conclusiones preliminares, han logrado llevarse a cabo".

Cualquier investigador experimentado confirmaría estas declaraciones. Darwin fue aún más lejos:

"Siempre he tratado de conservar mi mente libre, de tal modo que pueda abandonar una hipótesis, aun las que me son más queridas (y no puedo resistir la tentación de elaborar una en cada materia) tan pronto como los hechos se oponen a ella... *no puedo recordar ninguna hipótesis inicial que después de algún tiempo no haya tenido que abandonar o modificar en gran parte*".<sup>28</sup>

T. H. Huxley decía que la gran tragedia de la ciencia era el asesinato de las bellas hipótesis por los odiosos hechos. F. M. Burnet me ha dicho, que la mayoría de las "ideas brillantes" que él tiene, más tarde se comprueban que son erradas.

No hay nada reprochable en cometer un error, siempre que se descubra y corrija a tiempo. Aquel científico

que es excesivamente prudente, es poco probable que cometa errores o realice descubrimientos. Whitehead lo ha expresado de la siguiente manera: "El miedo al error es la muerte del progreso". Humphrey Davy dijo:

"Los más importantes de mis descubrimientos me han sido sugeridos por mis fracasos".

La diferencia entre el pensador adiestrado y el que no lo es se demuestra en sus reacciones al comprobar que sus ideas no son correctas. El primero se aprovecha tanto de sus errores como de sus aciertos. Dewey dice:

"Aquello que molesta y desanima a una persona no acostumbrada a pensar... es un estímulo y guía para la persona adiestrada... Ello, o bien saca a la luz un problema nuevo o ayuda a definir y clasificar el problema del cual se trate".<sup>29</sup>

Por lo general, el investigador creador es aquel que no teme arriesgarse y se aventura a ir por el mal camino, pero que lleva a cabo pruebas rigurosas para comprobar la verdad de sus hallazgos. Esto no sólo es cierto en el campo biológico, sino también en las Matemáticas. Hadamard afirma, que los buenos matemáticos cometen errores a menudo, pero pronto los perciben y corrigen y que él mismo comete más errores que sus alumnos. Comentando esta afirmación, sir Frederic Bartlett, profesor de Psicología de Cambridge sugiere que la mejor medida de la pericia mental radica en la velocidad con la cual los errores son percibidos y desechados.<sup>31</sup> Lister dijo una vez:

"Lo mejor que un hombre puede hacer después de la proclamación de la verdad, es el público reconocimiento de un error".

W. H. George hace notar que aun en los hombres geniales en quienes la tasa de nacimientos de hipótesis es muy alta, ésta sólo muy ligeramente excede a la tasa de muerte de las mismas.

Max Planck, cuya teoría del "quantum" es considerada por algunos como una contribución más importante para la ciencia que la teoría de la relatividad de Einstein, dijo al recibir el premio Nobel:

"Mirando hacia el pasado... sobre el largo y laberíntico camino que condujo al descubrimiento (de la Teoría del Quantum) recuerdo vívidamente el dicho de Goethe, de que los hombres mientras tratan de lograr algo, siempre cometerán errores".<sup>70</sup>

Al hablar del origen de su teoría general de la relatividad, Einstein dijo:

"Hubo ciertos errores al pensar, que trajeron como consecuencia dos años de duro trabajo antes de que por fin, en 1915, pudiera reconocerlos como tales.

... Los resultados finales parecen simples; cualquier estudiante inteligente, aún sin graduarse, puede entenderlos sin mucha dificultad; pero los años de búsqueda en la oscuridad por una verdad que se siente, pero que no puede expresarse; el descebo intenso y las continuas alternativas de confianzas y recelos hasta lograr llegar a la comprensión y claridad, sólo puede conocerlas aquel que las ha experimentado en carne propia".<sup>35</sup>

Tal vez, la más instructiva e interesante de estas anécdotas fue escrita por Hermann von Helmholtz.<sup>38</sup>

"En 1891 había logrado resolver unos pocos problemas matemáticos y físicos, entre los cuales se incluían algunos que habían desconcertado a muchos matemáticos desde los tiempos de Euler. Sin embargo, cualquier orgullo que yo hubiera podido sentir por mis conclusiones, fue disminuido considerablemente por el hecho de que sabía que las soluciones de esos problemas, casi siempre me habían llegado como una gradual generalización de ejemplos favorables mediante una serie de conjeturas afortunadas y después de cometer muchos errores. Estoy dispuesto a compararme con alguien que vaga en las montañas y que



como no conoce el camino sube lentamente y tiene que volverse muy a menudo, porque no puede ir más allá; de repente, bien sea porque haya pensado o por suerte, descubre una nueva ruta por la cual alcanza la cima sólo para lograr ver desde allí que existía una excelente carretera por la cual podía haber ascendido si sólo hubiese tenido el suficiente ingenio para encontrar el acceso correcto. Naturalmente, en mis trabajos no digo a mis lectores los errores cometidos, sólo descubro el camino hecho, por medio del cual él también puede alcanzar ahora las mismas alturas sin mayor dificultad”.

### LA CURIOSIDAD COMO INCENTIVO DEL PENSAR

El hombre, lo mismo que otros animales, nace con el instinto de la curiosidad. Ello provee a los jóvenes el incentivo necesario para descubrir el mundo en el cual viven —aquello que es duro y lo que es blando, lo móvil y lo inmóvil, que las cosas caen, que el agua posee la propiedad de ser húmeda y todos aquellos conocimientos que nos capacitan para adaptarnos a nuestro medio—. Los infantes, cuyos reflejos mentales no han sido aún condicionados, se dice que no poseen “la reacción ataque-escape” como los adultos, sino que, al contrario, exhiben un tipo opuesto de comportamiento. Por lo general, esta etapa del desarrollo se ha sobrepasado al alcanzar la edad escolar y a partir de entonces la adquisición de nuevos conocimientos se efectúa aprendiendo de otros seres, bien sea por observación o porque se nos dice, o mediante la lectura. Una vez adquirido este conocimiento fundamental de nuestro medio, nuestra curiosidad tiende a embotarse a menos que se transfiera con buenos resultados a los intereses intelectuales.

Por lo general, la curiosidad de los científicos se dirige a tratar de buscar la comprensión de aquellas cosas o

relaciones que él nota que no poseen explicación satisfactoria. Las explicaciones usualmente consisten en conectar ideas u observaciones nuevas con hechos o ideas aceptadas. Una explicación puede ser una generalización que reúne un conjunto de datos en un todo ordenado, el cual a su vez puede asociarse con creencias o conocimientos admitidos. El fuerte deseo que siente el científico de buscar principios fundamentales en todo montón de datos carentes de relación obvia, puede entenderse como una forma adulta o sublimación de la curiosidad. Aquel estudiante que es atraído por la investigación es, por lo general, alguien que conserva más curiosidad de lo común.

Hemos visto que el darse cuenta de una dificultad o un problema, constituye un estímulo para la producción de ideas. Las personas desprovistas de curiosidad, raramente obtienen este estímulo, porque uno generalmente se da cuenta de un problema al preguntarse cómo o por qué un proceso se lleva a cabo o algo adquiere la forma que tiene. El que una pregunta es un estímulo, lo demuestra el hecho de que cuando alguien pregunta algo, tenemos que hacer un esfuerzo para no responder.

Algunos puristas mantienen que los científicos deben preguntarse “cómo” y no “por qué”. Ellos consideran que preguntar “el por qué” implica la existencia de un propósito inteligente detrás del ordenamiento de todas las cosas y que, por lo tanto, todo tipo de actividades estaría dirigido hacia ciertos fines por una fuerza sobrenatural. Este es el llamado punto de vista teleológico, el cual es rechazado por la ciencia moderna, quien se esfuerza en comprender el mecanismo de todos los fenómenos naturales. Una vez, Von Bruecke hizo notar:

“La Teleología es una dama sin la cual ningún biólogo puede vivir; a pesar de lo cual se avergüenza de mostrarse con ella en público”.

Preguntar "por qué" en Biología está justificado, porque todos los acontecimientos tienen una causa; además, porque tanto las estructuras como las reacciones desempeñan generalmente alguna función que posee un valor para la sobrevivencia del organismo, poseyendo, por lo mismo, un propósito en ese sentido. El preguntar "por qué", es un estímulo útil que conduce a la imaginación hacia la búsqueda de la causa o propósito. El preguntar "cómo" tiene también el útil propósito de conducirnos al estudio de los mecanismos de un proceso.

La curiosidad de los científicos nunca se satisface porque, según dijo Pavlov:

"Alcanzamos niveles más altos desde los cuales logramos contemplar horizontes más amplios y al mismo tiempo vislumbrar acontecimientos previamente inspechados".

Puede ser apropiado describir aquí, cómo la curiosidad llevó a John Hunter, a desarrollar un experimento que lo condujo a un importante descubrimiento.

Un día, mientras se encontraba en Richmond Park, vio un ciervo con las astas en desarrollo. Él se preguntó qué pasaría si la circulación sanguínea fuera cortada en un lado de la cabeza. Llevó a cabo el experimento ligando la arteria carótida externa en uno de los lados del cuello, debido a lo cual el asta correspondiente experimentó un descenso de temperatura y no siguió creciendo. Pero después de poco tiempo, volvió a adquirir su temperatura normal y reanudó su crecimiento. Hunter comprobó que la ligadura todavía se mantenía, pero las arterias vecinas habían aumentado de tamaño hasta lograr llevar una provisión adecuada de sangre. De este modo fue descubierta la existencia de la circulación colateral. Anteriormente, nadie se atrevía a tratar el aneurisma mediante el ligamento por temor a la gangrena, pero a partir de ese experimento, Hunter vio las posibilidades

e intentó el ligamento en el caso del aneurisma poplíteo. En esta forma se originó la operación hunteriana, nombre con el cual se conoce en la cirugía actual.<sup>52</sup> Parece ser que esta curiosidad insaciable fue la fuerza motora detrás de la mente prolifera de Hunter, quien sentó las bases de la moderna cirugía. En una ocasión, pagó todos los gastos de un cirujano para que fuera a Groenlandia a observar las ballenas en los propios sitios de pesca.

#### LA DISCUSION COMO ESTIMULO MENTAL

El esfuerzo mental productivo es activado muy a menudo por el intercambio intelectual. Discutir un problema con un amigo o con alguien profano, puede ayudar de cualesquiera de las siguientes maneras:

- a) La otra persona puede contribuir con una sugerencia útil. No es muy frecuente que pueda colaborar sugiriendo una solución directa, porque no es probable que posea tantos conocimientos pertinentes como el científico que trabaja en el problema; pero, en cambio, y debido precisamente a que sus conocimientos son diferentes, puede ver el problema desde otro ángulo y tal vez sugerir un nuevo enfoque. Aun una persona profana puede ser capaz de sugerir algo útil. Por ejemplo, la introducción del agar como base para los medios sólidos fue debido a una sugerencia de la esposa de Hesse, el cual era un colega de Koch.<sup>18</sup>
- b) Puede que una nueva idea surja del cúmulo de informaciones o ideas de dos o más personas. Tal vez ninguno de los científicos por sí solo posea la información necesaria para extraer la inferencia que puede obtenerse mediante la combinación de sus conocimientos.
- c) La discusión provee un medio valioso para descubrir los errores. Aquellas ideas basadas en información falsa o razonamiento dudoso pueden corregirse median-

te la discusión, y del mismo modo los entusiasmos injustificados pueden detenerse a tiempo. El investigador aislado, sin facilidades para discutir su trabajo con los colegas, a menudo perderá su tiempo siguiendo caminos falsos.

d) La discusión y el intercambio de ideas puede ser estimulante, alentador y placentero, especialmente cuando uno se encuentra preocupado o en dificultades.

e) La función más importante de la discusión es, según creo, ayudarnos a escapar del hábito de los pensamientos infructuosos ya establecidos, es decir, el pensar condicionado. Este fenómeno del pensar condicionado, se discutirá en la próxima sección.

Las discusiones deben llevarse a cabo con un espíritu de ayuda y confianza mutua, y debe hacerse un esfuerzo deliberado para conservar la mente abierta y receptiva. Por lo general, las discusiones son más efectivas cuando no están presentes más de seis personas. En este tipo de grupo nadie debe avergonzarse de admitir su ignorancia en determinada materia y aceptar las correcciones que se le hagan, porque en estos días de especialización extrema, nuestros conocimientos son bastante restringidos. La ignorancia consciente y la honestidad intelectual son atributos importantes del investigador. La libre discusión requiere una atmósfera que no esté cohibida por la menor sugestión de autoridad o aun respeto. Brailsford Robertson cuenta la historia del gran bioquímico Jacques Loeb, quien al ser interrogado por un estudiante después de una clase replicó:

"No puedo contestar su pregunta pues aún no me he leído ese capítulo del libro, pero mañana ya lo habré hecho y si usted viene a verme seré capaz de contestarle".<sup>74</sup>

Algunas veces, los estudiantes erróneamente piensan que sus maestros son casi omniscientes, sin saber que ellos

emplean un tiempo bastante considerable en la preparación de sus clases y que fuera del tópico que tratan, su conocimiento es muy a menudo nada imponente. Del mismo modo que el autor de un libro no lleva en su cabeza toda la información contenida en el libro, así también el autor de un artículo científico, muchas veces tiene que referirse a lo escrito para recordar algunos de los detalles de su trabajo.

La costumbre de almorzar y tomar té en grupos en los laboratorios es muy valiosa, porque facilita oportunidades para la discusión. Las reuniones más formales, como los seminarios, en los cuales los investigadores presentan los problemas que confrontan antes, durante, y después de la investigación, son también bastante útiles. Es también de gran valor el que los investigadores de un instituto o departamento compartan intereses y problemas en común, ya que ello promueve un ambiente de trabajo estimulante. El entusiasmo es infeccioso, y tal vez sea la mejor salvaguardia contra el aburrimiento.

#### PENSAR CONDICIONADO

Los psicólogos han observado que una vez que se comete un error, por ejemplo al sumar varios números, se tiene la tendencia a repetirlo insistentemente. Este fenómeno se conoce con el nombre de error persistente. Lo mismo sucede cuando reflexionamos acerca de un problema. Cada vez que nuestros pensamientos toman una dirección determinada, es muy probable que sigan la misma las próximas veces. Las ideas en esta cadena de pensamientos, forman asociaciones cada vez más firmes a medida que se usan, hasta que finalmente las conexiones están tan bien establecidas que la unión es muy difícil de romper. El pensar se convierte en condicionado del mis-

mo modo como se forman los reflejos condicionados. Podemos poseer datos suficientes para solucionar un problema determinado, pero una vez que hemos adoptado una línea estéril de pensamiento, mientras más insistamos en la misma más difícil nos será adoptar la verdadera. Tal como decía Nicolle: "Mientras mayor tiempo estemos en presencia de una dificultad, menor probabilidad tendremos de resolverla".

El pensar puede condicionarse cuando aprendemos de otros, bien sea de palabras o leyendo. Ya discutimos en el primer capítulo el efecto adverso que sobre la originalidad imparte la lectura no crítica. Ciertamente, todo aprendizaje involucra acondicionamiento de la mente. Aquí, sin embargo, estamos interesados en poner de manifiesto aquellos efectos del acondicionamiento que son perjudiciales para nuestro propósito inmediato el cual sólo es fomentar ideas originales.

Los dos modos principales de evitar el acondicionamiento del pensar, consisten en el abandono temporal y la discusión. Si abandonamos un problema por unos cuantos días o semanas y al cabo de los cuales volvemos sobre él, las viejas asociaciones se habrán debilitado y olvidado parcialmente; y muy a menudo podemos ver el problema desde un punto de vista diferente y lograr que surjan nuevas ideas. El efecto benéfico del abandono temporal se demuestra muy bien cuando guardamos durante una semana cualquier artículo que hayamos escrito y luego volvemos a leerlo. En esta ocasión, aparecerán faltas que no habíamos notado anteriormente y pueden brotar en la mente en esta oportunidad algunas observaciones nuevas.

La discusión es una gran ayuda para despojarse de pensamientos inútiles y fijos. Cuando explicamos un problema a otras personas, especialmente si esa persona no está familiarizada con el campo que se discute, es nec-

sario amplificar y aclarar algunos aspectos que habíamos antes aceptado como ciertos y en este momento la familiar cadena de pensamientos no puede ser seguida. No es raro que suceda que mientras explicamos algo a otra persona se nos ocurra una nueva idea, sin que la otra persona haya dicho ni una palabra. Lo mismo sucede durante el acto de dictar una clase, porque cuando se explica algo, "se ve" más claramente que antes. La otra persona o interlocutor al preguntar algo, aun cuando sea una pregunta sin base, puede hacer que la explicación que se le da, aun cuando sea con el simple objeto de refutar la futilidad de la sugerencia, rompa la cadena establecida de pensamientos fijos, lo cual puede traer como resultado que se desarrolle un nuevo enfoque del trabajo, o que se ponga de manifiesto la conexión entre dos o más observaciones o ideas, las cuales no habían logrado relacionarse anteriormente. El estímulo que sobre la mente tienen las preguntas, puede compararse al causado a la lumbre cuando se le remueve: altera el orden establecido y provoca nuevas combinaciones. Cuando se intenta provocar este tipo de alteración mediante la discusión, es tal vez más conveniente hablar con alguien que no esté familiarizado con el mismo ambiente de trabajo, porque los colegas de nuestro mismo campo, por lo general poseen igual tipo de hábitos mentales. Escribir una revisión del problema, puede ayudar en la misma forma que lo hace el dictar una clase.

Otra aplicación útil del concepto del pensar condicionado consiste en abandonar cualquier procedimiento que no logre solucionar un problema y comenzar de nuevo desde el principio y, de ser posible, con un nuevo enfoque. Por ejemplo, durante varios años estuve trabajando sin ningún éxito tratando de descubrir el microorganismo causal de la úlcera podal en las ovejas. Fracapé repetidas veces, pero cada vez que lo intentaba de nuevo seguía la misma táctica

general, es decir, trataba de aislar el organismo causal microscópicamente para luego aislarlo en cultivo puro. Este método parecía al principio bastante lógico, pero sólo cuando agoté todas las posibilidades y me vi forzado a abandonarlo, pensé en un enfoque fundamentalmente diferente del problema, el cual consistió en probar cultivos mixtos en diversos medios hasta encontrar uno que fue capaz de reproducir la enfermedad. De este modo, muy pronto se logró la solución del problema.

#### SUMARIO

El pensar creador comienza cuando nos damos cuenta de alguna dificultad.

En la mente brota la sugerencia de una solución, la cual puede ser aceptada o rechazada. En nuestro pensamiento pueden formarse nuevas combinaciones, bien sean mediante asociaciones racionales, fantasías u oportunidades circunstanciales. La mente fértil puede producir un número grande y variado de combinaciones. El pensador científico se acostumbra a reservar su opinión y a mantenerse en duda cuando es insuficiente la evidencia. Raramente la imaginación conduce hacia las respuestas correctas, y la mayoría de nuestras ideas deben ser desechadas a la larga. Los investigadores no deben atemorizarse ante la idea de cometer errores siempre y cuando los corrijan a tiempo.

Pasada la niñez, la curiosidad se atrofia, a menos que se transfiera a un plano intelectual. Por lo general, el investigador es una persona cuya curiosidad le ha encaminado hacia la explicación de los fenómenos incomprendidos. Muy a menudo, las discusiones son de gran valor para el pensar creador, y los grupos de discusión informal en los institutos de investigación son de gran ayuda.

Una vez que hemos contemplado un conjunto de datos, la mente tiende a seguir cada vez la misma línea al pensar, con el peligro de que aquellas sin ningún valor se repitan. Existen dos modos de librar nuestro pensamiento de este acondicionamiento: Abandonar el problema temporalmente o discutirlo con alguien, mejor si no está familiarizado con nuestro trabajo.



## Capítulo Nº 6

# INTUICION

*El factor realmente valioso es la intuición.*  
ALBERT EINSTEIN

### DEFINICION E ILUSTRACIONES

La palabra intuición tiene usos ligeramente diferentes; de tal modo que es necesario indicar desde el comienzo que la utilizaremos para significar una súbita comprensión o esclarecimiento de una situación, una idea luminosa que brota a menudo en el consciente y que puede ocurrir cuando no estemos pensando conscientemente sobre un sujeto determinado. Los términos inspiración, iluminación y palpito se utilizan también para describir este fenómeno, pero a esas palabras se les asignan muy frecuentemente otras significaciones. Aquellas ideas que nos llegan dramáticamente cuando no estamos pensando conscientemente en un sujeto en particular son los ejemplos más llamativos de la intuición; pero son también intuiciones aquellas que se nos ocurren de repente, cuando conscientemente consideramos un problema. Todas las ideas que forman los pasos graduales en el razonamiento ordinario, aun las más simples, probablemente se forman mediante el proceso de intuición y es sólo por conveniencia que consideraremos separadamente en este capítulo las progresiones más dramáticas e importantes del pensamiento.

Contribuciones importantes acerca de la intuición en el pensamiento científico han sido aportadas por los químicos americanos Platt y Baker,<sup>71</sup> por los matemáticos franceses Henri Poincaré<sup>72</sup> y Jacques Hadamard,<sup>50</sup> por el fisiólogo americano W. B. Cannon<sup>22</sup> y por el psicólogo Graham Wallas.<sup>99</sup> Al escribir este capítulo, he copiado libremente del excelente artículo de Platt y Baker, quienes llevaron a cabo una encuesta entre los químicos sobre esta materia. Los ejemplos siguientes son tomados del material que ellos reunieron.

"Librando mi mente de todos los pensamientos relativos al problema, caminaba por la calle, cuando de repente y en un punto definido que aún hoy en día podría localizar —como si me viniera del cielo—, una idea brotó en mi cabeza tan enfáticamente como si me la hubieran gritado".

"Había decidido abandonar el trabajo y todos los pensamientos relacionados con él, y entonces al día siguiente cuando me ocupaba en un trabajo enteramente diferente, una idea me vino a la mente tan súbita como un relámpago, ella era la solución... la extrema simplicidad de la misma me hizo maravillar de que no se me hubiera ocurrido antes".

"La idea fue para mí tal choque que puedo aún recordar el sitio exacto claramente".<sup>71</sup>

El príncipe Kropotkin escribió:

"Entonces siguieron meses de intenso pensar con el objeto de encontrar alguna significación en todo ese caos de observaciones dispersas, hasta que un día, y de repente, todo se volvió claro y comprensible como si hubiera sido iluminado con un rayo de luz"...

"No hay muchas alegrías en la vida humana que iguallen a la alegría del nacimiento de una generalización que viene a iluminar la mente después de un largo período de paciente investigación".

El gran físico alemán Von Helmholtz decía que después de las investigaciones previas de un problema "en todas las direcciones... las ideas felices venían inesperadamente y sin esfuerzo como una inspiración". El halló que las ideas no se le ocurrían cuando su mente estaba fatigada o cuando se dedicaba a trabajo activo, pero muy a menudo, en las mañanas, después de una noche de descanso o al ascender lentamente una colina en un día soleado, las ideas llegaban con facilidad a su mente.

Después que Darwin había concebido la idea básica de la evolución y mientras se entretenía leyendo a Malthus, se le ocurrió que en la lucha por la existencia, las variaciones favorables debían tender a ser preservadas y las desfavorables a ser destruidas. Darwin escribió un memorándum acerca de esta idea, pero aún quedaba por explicar un punto muy importante el cual era la tendencia que muestran los seres orgánicos que descienden del mismo tronco a divergir a medida que se modifican. La clarificación de este último punto le sobrevino bajo las siguientes circunstancias:

"Puedo aún recordar el lugar exacto de la carretera, mientras iba en mi coche, donde para mi regocijo se me ocurrió la solución".

La misma idea de la sobrevivencia de los más aptos como una parte de la explicación de la evolución, también se le ocurrió a A. R. Wallace cuando durante una enfermedad que lo aquejaba leía *Los principios de las poblaciones*, de Malthus. Este autor había expuesto claramente los factores que se oponían al aumento de la población humana y mencionaba que dichos factores eliminaban los individuos menos aptos. De aquí se le ocurrió a Wallace que la condición era muy semejante para el mundo animal.

"Al pensar vagamente acerca de la destrucción enorme y constante que esto implicaba, se me ocurrió formu-

larme la siguiente pregunta: ¿por qué algunos mueren y otros viven?, y la respuesta fue claramente de que tomado como un todo, sólo los más aptos viven... De pronto se me ocurrió que este autoproceso debía mejorar la raza... los más aptos sobrevivirían. Al punto me pareció ver el efecto total de todo esto".<sup>98</sup>

El propio relato de Metchnikoff sobre el origen de la idea de la fagocitosis dice lo siguiente:

"Un día cuando toda mi familia había ido al circo, me quedé solo con mi microscopio, observando la vida en las células móviles de una larva transparente de estrella de mar y de repente un nuevo pensamiento cruzó mi cerebro. Se me ocurrió que células similares podían servir en la defensa del organismo contra los intrusos. Presintiendo que en esta idea había algo de gran interés, me sentí tan excitado que comencé a caminar de uno a otro lado de mi cuarto y finalmente me fui a la playa a ordenar mis pensamientos".<sup>82</sup>

Poincaré nos cuenta cómo después de un período de intenso trabajo matemático decidió hacer un viaje al campo y olvidarse de su problema.

"En el preciso momento que puse el pie en el pescante me vino la idea... las transformaciones que yo había usado para definir las funciones fuchsianas, eran idénticas a las de la geometría no euclidiana".<sup>72</sup>

En otra ocasión, se encontraba desconcertado por un problema, se dirigió a la playa y:

"Pensé en cosas diferentes. Un día mientras caminaba por los acantilados se me ocurrió la idea de nuevo, con las mismas características de concisión, violencia y certeza, de que las transformaciones aritméticas de las formas ternarias cuadráticas indefinidas eran idénticas a aquellas de la geometría no euclidiana".

Hadamard cita la experiencia del matemático Gauss, quien durante muchos años había tratado sin éxito de resolver un problema.

"Finalmente, lo logré hace dos días... cual un súbito destello luminoso el enigma se resolvió. No puedo precisar cuál fue el hilo que conectaba mis conocimientos previos y qué hizo mi éxito posible".

Algunas veces las intuiciones ocurren durante el sueño, y a este respecto Cannon cita un ejemplo notable. Otto Loewi, profesor de Farmacología en la Universidad de Graz, se despertó una noche con una idea brillante. Buscó papel y lápiz, escribió algunas anotaciones. Al levantarse en la mañana, se dio cuenta de que había tenido una inspiración durante la noche; sin embargo, por más que lo intentó no pudo descifrar lo que había escrito. Todo ese día en su laboratorio, en presencia de los aparatos que le eran familiares trató de recordar la idea y entender sus anotaciones, pero fue en vano. Todavía a la hora de acostarse no había sido capaz de recordar nada, pero durante esa noche y para su alegría fue despertado de nuevo por el mismo destello de inspiración; esta vez se preocupó de anotar todo cuidadosamente antes de irse a dormir.

"El próximo día se dirigió a su laboratorio y en uno de los experimentos más simples, nítidos y definitivos en la historia de la Biología comprobó la mediación química de los impulsos nerviosos. Preparó dos corazones de sapo los cuales conservó latiendo con ayuda de soluciones salinas. Luego estimuló el nervio vago en uno de los corazones, provocando de este modo su paro. Entonces removió la solución salina de este corazón y la aplicó al otro. Para su gran satisfacción encontró que esta solución tenía sobre el segundo corazón el mismo efecto que la estimulación del vago había tenido sobre el primero: el músculo pulsátil había sido obligado a detenerse. Esto marcó el co-



mienzo de una serie de investigaciones en muchos países del mundo sobre el tópico de la mediación química, no sólo entre los nervios, y los músculos y glándulas que ellos afectan, sino, más aún, entre los mismos elementos nerviosos".<sup>22</sup>

Cannon afirma que desde su juventud estaba acostumbrado a tener ayuda de este tipo de inspiración, y que no era poco frecuente en él irse a dormir con un problema en su mente para levantarse al día siguiente con la solución ya lista. El siguiente ejemplo muestra un uso ligeramente diferente de la intuición.

"Me he acostumbrado a confiar en la ayuda de los procesos inconscientes, por ejemplo, cuando tengo que preparar un discurso. Primero reúno los puntos pertinentes del discurso y elaboro con ellos un esquema; durante las próximas noches me despierto frecuentemente con inspiraciones de ejemplos ilustrativos, frases pertinentes o ideas nuevas relacionadas con las ya escritas en el esquema. El conservar papel y lápiz a mano permiten capturar esas ideas fugaces antes de que caigan en el olvido. Este proceso ha sido tan corriente y seguro para mí, que supuse que el mismo serviría a todo el mundo. Sin embargo, la evidencia contraria demostró que tal no era el caso"<sup>22</sup>

Del mismo modo, mientras me dedicaba a preparar este libro, las ideas se me ocurrían en cualquier momento del día, algunas veces cuando estaba pensando acerca del libro, otras veces cuando pensaba en algo diferente. Todas estas ideas las apuntaba con el objeto de seleccionarlas más tarde.

Estos ejemplos deben ser suficientes para hacer entender al lector el sentido particular en el cual estoy utilizando la palabra intuición, y para que se dé cuenta de la importancia que ésta tiene en el pensamiento creador.

La mayoría de los científicos —aun cuando no todos— están familiarizados con el fenómeno de la intuición. Entre aquellos que respondieron al cuestionario de Platt y Baker, el 33 por ciento informaron tener ayuda frecuente de la intuición, el 50 por ciento sólo ocasionalmente, y el 17 por ciento informaron no tener ninguna ayuda. Si nos basamos en otras encuestas, nos damos cuenta de que otras personas, al menos como ellos lo dicen, nunca tienen intuiciones, o por lo menos ninguna intuición de importancia. Ellos no comprenden lo que es una intuición y creen que sus ideas se derivan sólo del pensar consciente. Puede que alguna de esas opiniones estén basadas en un examen insuficiente del proceso de trabajo de nuestra propia mente.

Los ejemplos antedichos podrían dar la impresión al lector de que todas las intuiciones son correctas, o al menos fructíferas, lo cual de ser cierto, sería inconsistente con lo que se ha dicho acerca de la hipótesis e ideas en general. Desgraciadamente, las intuiciones como productos que son de una mente humana falible, no son siempre correctas. En la encuesta de Platt y Baker, el 7 por ciento de los científicos replicaron diciendo que sus intuiciones eran siempre correctas, mientras que el resto dio informaciones variadas que iban de un 10 a un 90 por ciento en lo que se refería a lo acertado de sus intuiciones. Aún así, es probable que este sea un cuadro muy favorable, porque existe cierta tendencia a recordar los momentos afortunados y a olvidar los desagradables. Varios científicos eminentes han afirmado que comprobaron más tarde que la mayoría de sus intuiciones eran erradas y, por lo tanto, fueron olvidadas.

#### SICOLOGIA DE LA INTUICION

Las circunstancias más características de una intuición son las siguientes: Un período de trabajo intenso

sobre el problema acompañado por el deseo de solucionarlo, abandono del trabajo tal vez con dedicación hacia algo diferente, y aparición súbita de la idea, a menudo acompañada de cierta sensación de certeza. Con frecuencia se siente regocijo y tal vez sorpresa de que esa idea no se haya ocurrido antes.

La psicología de este fenómeno no ha sido completamente entendida. Existe un acuerdo general, aun cuando no universal, respecto a que las intuiciones nacen de las actividades subconscientes de la mente, la cual ha seguido considerando el problema aun cuando tal vez la mente consciente no le preste atención.

En el capítulo anterior hicimos notar que todas las ideas brotan en la mente consciente sin necesidad de que las formemos deliberadamente. Evidentemente, ellas se originan a partir de las actividades subconscientes de la mente, la cual cuando está dirigida a un problema particular reúne de inmediato las diversas ideas que han estado asociadas anteriormente con ese sujeto particular. Cuando se halla una posible combinación significativa, ésta es presentada a la mente consciente para su consideración. Aquellas intuiciones que nos llegan cuando estamos pensando conscientemente acerca de un problema, son simplemente ideas que nos sorprenden un poco más que las corrientes. Sin embargo, necesitamos explicaciones posteriores para entender aquellas intuiciones que nos llegan cuando nuestra mente consciente no está considerando un problema en particular. Probablemente la mente subconsciente ha continuado ocupada con el problema y de repente encuentra una combinación significativa. Ahora bien, una nueva idea que nos llegue durante nuestro pensar consciente, a menudo produce cierta reacción emocional —nos sentimos agradaos con ella y tal vez un poco excitados—. Tal vez la mente subconsciente también sea capaz de reaccionar de esta manera y esta reacción tiene

el efecto de llevar la idea a la mente consciente. Esto es sólo una conjetura, pero no existe duda de que un problema puede continuar ocupando la mente subconsciente porque es una experiencia muy común la de que es difícil "sacar un problema de la mente" porque aun involuntariamente siempre lo recordamos en nuestro pensamiento. Por lo demás, no existe duda alguna acerca de la emoción que frecuentemente está asociada con la intuición.

Algunas ideas logran llegar al consciente y son captadas, pero, ¿no pudiera ser que algunas otras no aparecieran en la mente consciente o sólo lo hicieran de una manera fugaz para luego desaparecer, como aquellas cosas que en una conversación estuvimos a punto de decir pero lo olvidamos antes de haber tenido la oportunidad de expresarlo? De acuerdo con la hipótesis antes expuesta, mientras una idea esté asociada con un grado mayor de emoción, mayor oportunidad tendrá de llegar hasta el estado consciente. Siguiendo este razonamiento, debemos esperar que sea muy útil el tener un gran deseo de solucionar un problema como también el cultivar un cierto "gusto" por los asuntos científicos. Sería muy interesante saber si aquellos científicos que dicen no tener nunca intuiciones, tampoco encuentran placer ante las nuevas ideas o son deficientes en sensibilidad emocional.

El concepto de psicología de la intuición antes expuesto, está de acuerdo con lo que se conoce acerca de las condiciones necesarias para su ocurrencia. Este concepto nos provee con una explicación para la importancia de a) La libertad de los otros problemas y preocupaciones competitivas, y b) La ayuda que significan los períodos de descanso al permitir la aparición de las intuiciones, porque estos mensajes del subconsciente no pueden ser recibidos por la mente consciente si está constantemente ocupada o demasiado fatigada. Existen varios casos de generalizaciones famosas que se le han ocurrido a perso-

nas cuando se encontraban enfermas en cama. La idea de la selección natural se le ocurrió a Wallace durante un ataque de malaria, y Einstein refiere que su profunda generalización al relacionar el espacio y el tiempo, se le vino a la mente mientras se encontraba enfermo. Se ha dicho que Descartes efectuó la mayoría de sus descubrimientos por las mañanas mientras se encontraba todavía en cama, y tanto Cannon como Poincaré informan también haber tenido ideas brillantes varias veces cuando encontraban dificultad para dormir: lo único bueno que puede decirse del insomnio. Se dice que cuando el gran ingeniero James Brindley se encontraba con algún problema difícil, se iba a la cama durante varios días hasta que lo solucionaba. Walter Scott le escribía a un amigo:

"La media hora que suelo permanecer en cama después de despertarme siempre me ha sido propicia para aclarar cualquier dificultad que preocupe mi invención".

"...Siempre fue al abrir los ojos cuando las ideas deseadas se me venían a la mente en tropel".

Baker afirma que el momento ideal es cuando se está en la bañera y sugiere que fue esta condición favorable la que ayudó a Arquímedes a descubrir su famoso principio y no el hecho de notar que su cuerpo flotaba. Los efectos favorables tanto de la cama como del baño, se deben probablemente a que no existen elementos de distracción y al hecho de que todas las circunstancias ayudan a la fantasía. Otras personas atestiguan acerca del valor de la ociosidad o de las ocupaciones ligeras, tales como caminar en el campo o trabajar en el jardín. Hughlings Jackson aconsejaba a sus estudiantes sentarse en un cómodo sillón después de un día de trabajo, y dejar que sus pensamientos vagaran alrededor de todas aquellas cosas que les habían interesado durante el día y que al mismo tiempo anotasen todas las ideas que se les ocurrieran.

Es evidente que para obtener ideas interesantes, el científico necesita tiempo para meditar. El efecto favorable del abandono temporal puede ser el que sirva de escape al pensar condicionado estéril. Una concentración demasiado intensa y prolongada sobre un problema puede producir un cierto estado de bloqueo mental, tal como el que resulta al tratar de recordar algo que se nos ha escapado de la mente.

Según Wallas,<sup>99</sup> las intuiciones siempre ocurren en el lindero de la mente, nunca en su foco. El considera que se debe hacer un esfuerzo para capturarlas y que la búsqueda de esas ideas debe llevarse a cabo en los remanidos y orillas del pensamiento y no en la corriente principal.

Se dice que algunas personas reciben algún tipo de premonición antes de tener una intuición. Ellos se dan cuenta de que es inminente algo de esa naturaleza antes de saber exactamente qué es lo que será. A esto lo llama Wallas intimación. Este curioso fenómeno no parece ser muy general.

A mi colega F. M. Brunet, las intuiciones le sobrevienen más a menudo cuando escribe y no cuando descansa, como a la mayoría de las personas. Mi propia experiencia es que cuando durante varios días he estado pensando sobre un problema cualquiera, éste me sigue viniendo a la mente aun después de haber dejado de trabajar en él deliberadamente. Durante una clase, visita, concierto, o en el mismo cine, mis pensamientos se revuelven constantemente sobre el problema y algunas veces luego de unos pocos momentos de pensar consciente, puede que se me ocurra una nueva idea. Ocasionalmente, la idea puede brotar en la conciencia sin ningún paso consciente preliminar. Este pensar consciente previo puede ser similar a la intimación de Wallas y muy fácilmente puede no ser notado o ser olvidado. Diversas per-

sonas han hecho notar la influencia favorable de la música; sin embargo, no todo el mundo está de acuerdo sobre eso. Particularmente, encuentro que algunas formas de música ayudan a las intuiciones lo mismo cuando escribo que cuando asisto a algún entretenimiento. El goce de la música es muy parecido emocionalmente al que se deriva de una actividad mental creadora, y la música apropiada induce cierta predisposición anímica apropiada al pensamiento creador.

En otra parte hemos hablado del gran estímulo emocional que mucha gente experimenta cuando lleva a cabo un nuevo descubrimiento o tiene una intuición brillante. Tal vez esta reacción emocional está relacionada con la cantidad de esfuerzo mental y emocional que se ha dedicado al problema. También contribuye a formar esa reacción, la liberación súbita de todas las frustraciones que han estado asociadas con el trabajo en el problema particular. A este respecto, es muy interesante anotar la afirmación de Claude Bernard:

"Aquellos que no conocen el tormento de lo desconocido, no pueden obtener la alegría del descubrimiento".

La sensibilidad emocional es tal vez un valioso atributo para un científico; en todo caso el científico notable debe ser considerado como un artista creador, y es del todo falso pensar que el científico es un hombre que simplemente sigue las leyes de la lógica y de los experimentos. Algunos de los grandes maestros del arte de la investigación han poseído además talento artístico de otro tipo. Tanto Einstein como Planck fueron buenos músicos, Pasteur y Bernard desde temprana edad mostraron facilidades para la pintura y literatura, respectivamente. Nicolle comentaba acerca del hecho interesante y curioso de que en el antiguo lenguaje peruano había una sola palabra (*hamavec*), que designaba tanto al poeta como al inventor.<sup>63</sup>

## TECNICA DE LA BUSQUEDA Y CAPTURA DE LAS INTUICIONES

Tal vez sea útil recapitular y exponer sistemáticamente aquellas condiciones que la mayoría de las personas consideran conducentes a la intuición.

a) El prerrequisito más importante es la meditación prolongada del problema y de los datos, hasta que la mente esté saturada con ellos. Al mismo tiempo, debe existir un gran interés en el mismo e intenso deseo de lograr su solución. Durante días, la mente debe trabajar conscientemente sobre el problema y de este modo obtener la cooperación del subconsciente. Naturalmente, mientras más apropiados sean los datos de trabajo que posea la mente, mayor será la oportunidad de lograr una conclusión.

b) Una condición importante es liberarse de otros intereses o problemas que compitan por nuestra atención, especialmente las preocupaciones sobre asuntos o problemas de índole privada.

Al referirse a estos dos requisitos Platt y Baker dicen:

"Por más que usted se esfuerce en aplicar el pensamiento consciente a su trabajo, si usted no se halla completamente envuelto en el mismo, de modo que aun inconscientemente y a la menor oportunidad insista sobre él, o si se tienen problemas más urgentes que desplacen a los científicos, entonces muy poco puede esperarse de la intuición".

c) Otra condición favorable consiste en estar a salvo de interrupciones o, aún más, de la posibilidad de una interrupción o de cualquier influencia que nos distraiga, tales como una conversación interesante cerca de nosotros, o ruidos súbitos y excesivamente fuertes.

d) La mayoría de las personas encuentra que las intuiciones son más propensas a ocurrir durante aquellos

períodos de aparente ociosidad o temporal abandono, consecutivos a las etapas de intenso trabajo. Aquellas ocupaciones ligeras tales como caminar por el campo, bañarse, afeitarse, viajar, son las ocasiones donde, por lo común, aparecen las intuiciones; tal vez ello sea debido a que bajo estas circunstancias existe una mayor posibilidad de evitar las distracciones o interrupciones, y de este modo la mente consciente no está tan ocupada como para suprimir cualquier cosa interesante que brote en el subconsciente. Otras personas, como dijimos anteriormente, encuentran que el momento más favorable es cuando están acostadas y de este modo algunos de ellos deliberadamente meditan acerca de los problemas antes de irse a acostar, mientras que otros lo hacen antes de levantarse por la mañana. Algunos otros hallan una influencia benéfica en la música, pero es notable que son muy pocos los que consideran que el tabaco, café o alcohol, puedan ser de alguna ayuda. Una actitud mental esperanzadora, puede ser de gran ayuda.

e) Algunas formas de contacto con otras mentes puede proveer un estímulo positivo para la actividad mental, y esto puede llevarse a cabo de las siguientes maneras: i) Mediante discusión bien sea con los colegas o con personas profanas; ii) Al escribir una información o dar una charla sobre investigación; iii) Mediante la lectura de artículos científicos, incluyendo aun aquellos con los cuales no se está de acuerdo. Cuando se leen artículos o tópicos no relacionados con nuestro problema, pueden absorberse técnicas o principios básicos, los cuales, más tarde, se nos ponen de manifiesto como una intuición relacionada con nuestro propio trabajo.

f) Una vez considerada la técnica mental de la búsqueda deliberada de las intuiciones, nos queda todavía un punto de gran importancia práctica. Es un hecho comprobado, que aquellas nuevas ideas que vienen a nues-

tra mente desaparecen en un tiempo relativamente corto, más o menos un minuto a menos que se haga un esfuerzo para capturarlas, mediante el enfoque de la atención durante un tiempo suficientemente largo como para fijarlas en la memoria. Es una buena costumbre el habituarse a llevar continuamente papel y lápiz y anotar cualquiera idea original tan pronto como aparezca en la mente. Se ha dicho que Thomas Edison tenía el hábito de apuntar casi todos los pensamientos que se le ocurrieran, aun cuando al principio aparecieran como insignificantes. Esta técnica ha sido muy usada por los poetas y los músicos y las notas de Leonardo de Vinci nos proporcionan con un ejemplo clásico de su uso en las artes. Aquellas ideas que vienen durante el sueño tienen la particularidad de ser fugaces y, por esta razón, algunos psicólogos y científicos siempre dejan papel y lápiz al alcance de la mano; esta costumbre es también muy útil para fijar aquellas ideas que ocurren antes de irse a dormir o mientras se está en la cama por la mañana. Muy a menudo, las ideas hacen su aparición en los linderos del consciente, mientras se está leyendo, escribiendo o dedicado mentalmente a un tema que no deseamos interrumpir. Estas ideas deben ser anotadas tan pronto como sea posible; lo cual no sólo las preserva, sino, aún más, nos permite "quitarlas de nuestra mente" con un mínimo de interrupción para nuestro interés principal. La concentración requiere que la mente no se distraiga con aquellas ideas retenidas en los bordes del consciente.

g) Hemos mencionado ya tres influencias adversas de mucha importancia, ellas son interrupción, preocupación e intereses competitivos. Se necesita tiempo para colocar la mente en un estado de preparación y trabajo eficiente sobre un problema determinado mientras mantiene un montón de datos importantes en los bordes del consciente. Las interrupciones perturban este delicado comple-

jo y rompen el estado de ánimo apropiado. Otras influencias adversas en contra del pensar creador pueden ser la fatiga mental y física, el trabajo constante sobre el mismo problema (especialmente cuando se actúa bajo presión), los disgustos nimios y cualquier tipo de ruido que pueda distraernos.

Estas afirmaciones no van en contra de lo que se dice en el Capítulo N<sup>o</sup> 11, o sea, de que algunas veces el mejor trabajo se lleva a cabo bajo condiciones de adversidad y tensión mental. Allí yo me refiero a aquellos profundos problemas de la vida, los cuales muchas veces nos impulsan al trabajo en un intento de escaparnos de ellos. En este capítulo me refiero a los problemas inmediatos de la vida rutinaria.

#### EL GUSTO CIENTIFICO

Este parece ser el lugar más adecuado para hablar acerca del concepto de "el gusto científico". Hadamard y otros han observado que existe un gusto científico del mismo modo como existe un gusto artístico y uno literario.<sup>50</sup> Dale se refiere al "razonamiento subconsciente al cual llamamos juicio instintivo".<sup>57</sup> W. Ostwald<sup>67</sup> habla del "instinto científico" y algunas personas utilizan a este respecto las palabras "intuición" y "presentimiento", pero a mí me parece más correcto llamar gusto a esta facultad. Aun cuando muchos científicos preferirían usar el sinónimo "juicio personal", yo creo que esa expresión es menos aclaradora que "gusto". Tal vez sería más exacto decir que gusto es aquello sobre lo cual basamos nuestro juicio personal.

Podríamos describir mejor el gusto si lo entendemos como un sentido de belleza o sensibilidad estética, recordando al mismo tiempo que el mismo puede ser digno de confianza o no, según el individuo. Cualquiera

que lo posea siente simplemente en su mente que un trabajo en particular tiene interés por sí mismo y llevarlo a cabo tiene valor, aun cuando no se sepa por qué. Cuán dignos de confianza son nuestros presentimientos, sólo pueden determinarlos los resultados. Podemos explicar este concepto de otro modo, diciendo que la persona que lo posee es más capaz que otra de ver hacia dónde conducirá un trabajo determinado, porque esta persona tiene el hábito de utilizar su imaginación para mirar más lejos, en lugar de restringir su pensamiento a los conocimientos establecidos y los problemas inmediatos. Puede que ella no sea capaz de establecer explícitamente sus razones o representar cualquier hipótesis en particular, porque sólo nota aquellas insinuaciones que la guían hacia una u otra de varias preguntas cruciales.

Un ejemplo del gusto en materia no científica está dado por la elección de palabras y composiciones gramaticales cuando se escribe. En este caso, sólo ocasionalmente es necesario examinar mediante el análisis gramatical la corrección del lenguaje utilizado; generalmente, "sentimos que la oración es o no correcta". En la investigación; el gusto juega una parte importante al escoger temas provechosos para ella, al reconocer indicios promisorios en la intuición, al decidir sobre un curso de acción cuando no existen aún razones suficientes para juzgar, al rechazar hipótesis que requieran demasiadas modificaciones y, finalmente, al formar opiniones acerca de los nuevos descubrimientos antes de que la evidencia sea decisiva.

Aunque sucede lo mismo con otros gustos, las personas pueden estar dotadas con diversos grados de capacidad para el gusto científico; éste puede también ser cultivado mediante el entrenamiento en la apreciación de la ciencia, como, por ejemplo, mediante la lectura de los procesos de los descubrimientos. Lo mismo que con los

otros gustos, el gusto por la ciencia se encontrará en aquellas personas que posean un genuino amor por la misma. Nuestro gusto deriva de una adición de todo aquello que hayamos aprendido de otros o pensado o experimentado por nosotros mismos.

Algunos científicos encuentran difícil de comprender un concepto tan abstracto como el gusto y otros lo hallan inaceptable, debido principalmente a que la educación del científico lo condiciona para eliminar de su trabajo cualquier influencia subjetiva. Nadie discute las ventajas que representa conservar cualquier elemento subjetivo lo más lejos posible de la experimentación, observación y procedimientos técnicos. Lo que se puede discutir es hasta dónde puede este sistema ser llevado a cabo en el pensamiento del científico. La mayoría de las personas no se dan cuenta cuán a menudo opiniones que se suponen basadas en la razón, son solamente racionalizaciones de prejuicios o motivos subjetivos. Existe una parte muy considerable del pensar científico carente del conocimiento básico suficiente para permitir un razonamiento efectivo en el mismo y, por lo tanto, cualquier juicio estará influenciado en gran parte por el gusto. En el campo de la investigación, debemos tratar frecuentemente con eventos acerca de los cuales existe poca evidencia directa. Por consiguiente, antes que engañarnos a nosotros mismos, creo que es más prudente encarar la posibilidad del juicio subjetivo y aceptar el concepto del gusto científico, el cual puede ser útil.

Al mismo tiempo, no deseo sugerir que al aceptar esta idea debemos adoptar el gusto como una guía en aquellos casos en los cuales existe suficiente evidencia para basar un juicio objetivamente razonado. La frase "gusto científico" no debe cegarnos hasta el punto de no notar los riesgos asociados con todo tipo de pensar subjetivo.

## SUMARIO

La palabra intuición la utilizamos aquí para indicar una idea esclarecedora que brota de súbito en la mente. Las intuiciones no siempre son correctas.

Las condiciones conducentes a la aparición de intuiciones son las siguientes: a) La mente debe ser preparada mediante prolongada meditación del problema; b) Preocupaciones o intereses competitivos son hostiles a la intuición; c) La mayoría de las personas requieren estar libres de interrupciones y distracciones; d) A menudo, las intuiciones aparecen cuando no se trabaja en el problema; e) Contactos intelectuales con otras mentes en la forma de discusiones, lecturas y trabajos críticos, proveen un estímulo positivo; f) Muy a menudo las intuiciones desaparecen de la mente tan rápidamente como aparecieron, de modo que es conveniente tomar nota escrita de ella, y g) Además de las interrupciones, preocupaciones e intereses competitivos, existen otras influencias desfavorables entre las cuales se cuentan diferentes tipos de ruidos molestos, fatiga mental y física, pequeños disgustos, y el trabajo demasiado constante sobre el problema.

Frecuentemente, en el campo de la investigación, nuestros pensamientos y acciones deben ser guiados por nuestro juicio personal basado en el gusto científico.

Capítulo N° 7

L A R A Z O N

*El descubrimiento debe sobrevenir como una aventura y no como el resultado de un proceso lógico del pensamiento. El pensar profundo y prolongado es necesario porque ayuda a mantenernos en la ruta escogida, pero no nos conduce necesariamente hacia el descubrimiento.*

THEOBALD SMITH

LIMITACIONES Y RIESGOS

Antes de considerar el papel que la razón juega en la investigación, puede ser útil discurrir acerca de las limitaciones de la misma. Estas limitaciones son mucho más serias de lo que la mayoría de la gente cree, debido a que nuestra concepción de la ciencia nos ha sido transmitida por maestros y autores, quienes nos la han presentado como una secuencia lógica, la cual, por lo común, no corresponde al modo cómo se han formado los conocimientos.

Tanto la historia como la experiencia diaria, nos enseña que en las ciencias biológicas y médicas, la razón raramente puede ir muy separada de los hechos sin correr el riesgo de perderse. El escolasticismo y autoritarismo prevalente durante la Edad Media fueron incompatibles con la ciencia. Junto con el Renacimiento sobrevino un cambio de conceptos: la creencia de que las cosas debían, y de hecho se comportaban, de acuerdo a las ideas



aceptadas (la mayoría de ellas tomadas de los clásicos), fue reemplazada por un deseo de observar las cosas tal como ellas son, y de este modo el conocimiento humano comenzó a crecer de nuevo. Francis Bacon tuvo una gran influencia en el desarrollo de la ciencia, principalmente debido a que demostró que la mayoría de los descubrimientos habían sido hechos empíricamente, y no mediante el uso de la lógica deductiva. En 1605, dijo:

"Los hombres prefieren estar agradecidos... a la casualidad o a cualquier otra cosa y no a la lógica, por la invención de las artes y la ciencia".<sup>6</sup>

Y en 1620.

"El actual sistema de lógica, antes de asistir a la búsqueda de la verdad, ayuda a confirmar los errores que se encuentran en los conceptos vulgares y, por lo tanto, es más dañino que útil".<sup>7</sup>

Un poco más tarde, el filósofo francés René Descartes, logró que la gente se diera cuenta de que la razón podía conducir a un sinnúmero de falacias. Su regla dorada era:

"No acepte a ciegas ninguna proposición, sino sólo aquéllas cuya verdad es tan clara y distinta que no puede ser dudada".

Cada niño y, de hecho podríamos decir que cada vertebrado joven, descubre la gravedad; y sin embargo, la ciencia moderna, con todo su conocimiento, todavía no ha podido explicarla satisfactoriamente. Por consiguiente, la razón y la lógica no sólo son insuficientes como medios de descubrir la gravedad sin previo conocimiento empírico de la misma, sino que, aún más, toda la razón y lógica que se aplicó en los tiempos clásicos a estas observaciones no sirvieron ni siquiera para capacitar a las personas inteligentes para deducir los hechos más elementales relacionados con la gravedad.

F. C. S. Schiller, un filósofo moderno, ha escrito algunos comentarios esclarecedores acerca del uso de la lógica en la ciencia, y del mismo cito lo siguiente:

"Entre los varios obstáculos que se oponen al progreso científico, debe asignársele un buen lugar al análisis que de los procedimientos científicos provee la lógica... No ha tratado de describir los métodos mediante los cuales se regule el progreso científico, al contrario, ha reorganizado el procedimiento actual de acuerdo con sus prejuicios y el orden de los descubrimientos ha sido sustituido por un ordenamiento de las pruebas".<sup>80</sup>

El crédito que se concede al punto de vista lógico, ha sido estimulado por el método adoptado generalmente al escribir los artículos científicos. El método lógico de presentación de los resultados seguido corrientemente, casi nunca es un recuento cronológico completo de cómo la investigación se lleva a cabo porque, de hacerse de ese modo, el artículo sería fastidioso y difícil de seguir y, aún más, para la mayoría de ellos sería un gasto de espacio. En su libro sobre la manera de escribir artículos científicos, Allbutt aboga por una presentación deductiva de la investigación en lugar de un recuento sobre el curso de la misma.

Citando de nuevo a Schiller, quien adopta un punto de vista extremista:

"No es mucho decir que a mayor deferencia que los hombres de ciencia presten a la lógica, peor es el valor científico de sus razonamientos... sin embargo, afortunadamente para el mundo, los grandes hombres de ciencia han conservado una saludable ignorancia de la tradición lógica".<sup>80</sup>

Schiller prosigue diciendo que la lógica fue desarrollada para regularizar los debates en las asambleas, cortes legales y escuelas griegas. Era necesario determinar cuál

lado ganaba y la lógica servía para este propósito, pero no debe sorprender que no sea útil en la ciencia ya que nunca fue desarrollada para este propósito. Muchos dialécticos declaran enfáticamente que la lógica, interesada como está principalmente en la corrección y en la validez no tiene nada que hacer con el pensar creador.

Schiller va aún más lejos en su crítica de la lógica tradicional, y dice que ella no sólo es de poco valor para efectuar los descubrimientos, sino que, aún más, la historia ha demostrado, que es de poca utilidad para reconocer la validez de los mismos o asegurar su aceptación, cuando ellos han sido proclamados. Indudablemente, el razonamiento lógico muy a menudo se ha opuesto a la aceptación de las nuevas verdades, como lo ha demostrado la persecución de la cual han sido objeto frecuentemente los grandes descubridores.

"La lentitud y dificultad con la cual la raza humana efectúa los descubrimientos y su ceguedad hacia los hechos más obvios, cuando se encuentra sin preparación o deseo de verlos, debería bastar para demostrar que existe algo gravemente errado en las explicaciones que los dialécticos dan de los descubrimientos".

La mayoría de los filósofos modernos interesados en el método científico, no incluyen en el mismo el arte de descubrir el cual ellos consideran que está fuera de su campo. Ellos sólo se interesan en las implicaciones filosóficas de la ciencia.

Wilfred Trotter,<sup>94</sup> también dice algunas cosas acerca de la pobre hoja de servicio que posee la razón en relación con el avance de los conocimientos científicos. Según él, la razón no sólo tiene en su haber menos descubrimientos que el empirismo, sino que, aún más, ha obstruido el avance de la ciencia debido a las falsas doctrinas que se han basado sobre ella. Particularmente en el

caso de la Medicina, aquellas prácticas fundadas sobre la razón, han prevalecido por años y aun por siglos antes de que alguien dotado de una mente independiente las discutiera y, en muchos casos, lograra demostrar que eran más dañinas que beneficiosas.

Los dialécticos hacen una distinción entre el razonamiento inductivo (de lo particular a lo general) y el razonamiento deductivo (de lo general a lo particular). En la inducción se comienza a partir de los hechos o datos observados y se desarrolla una generalización que explica la relación entre los objetos observados. Por el contrario, en el razonamiento deductivo, se parte de alguna ley general y se aplica a casos particulares. De este modo, en el razonamiento deductivo, la conclusión que se deriva está contenida o implícita dentro de las premisas originales y debe ser verdadera si ella es verdadera.

Puesto que la deducción consiste en aplicar los principios generales a casos posteriores, no puede conducirnos hacia nuevas generalizaciones y, por tanto, tampoco podrá dar origen a grandes adelantos en la ciencia. Por el contrario, el proceso inductivo es menos digno de confianza pero más productivo. Es más productivo porque es un medio de alcanzar nuevas teorías, pero menos digno de confianza porque a partir de un cúmulo de hechos podemos inferir varias teorías posibles, no todas verdaderas, ya que algunas de ellas pueden ser incompatibles; más aún, pudiera ser que ninguna de ellas fuera verdadera.

En Biología cada fenómeno y circunstancia es tan complejo y tan poco entendido que las premisas no están bien delimitadas y, por consiguiente, el razonamiento no es digno de confianza. La naturaleza, a menudo es demasiado sutil para nuestro razonamiento. En Matemáticas, Física y Química, las premisas básicas están más firmemente establecidas y las circunstancias acompañantes pueden ser definidas y controladas con mayor rigidez. Por

consiguiente, en el aumento de conocimiento en estas ciencias, la razón juega un papel más dominante. A pesar de ello, el matemático Poincaré dijo: "La lógica tiene muy poco que hacer con las invenciones o descubrimientos". Puntos de vista similares fueron expresados por Planck y Einstein. El punto importante es que se llega a las inducciones mediante la intuición y no mediante la aplicación mecánica de la lógica, y que el curso de nuestros pensamientos es guiado constantemente por nuestro juicio personal. Por otra parte, al dialéctico no le interesa el modo cómo funciona la mente, sino las formulaciones lógicas.

Basado en su propia experiencia de que las hipótesis a menudo debían ser abandonadas o modificadas, Darwin aprendió a desconfiar del razonamiento deductivo en las ciencias biológicas. El decía:

"Debo comenzar con un buen conjunto de hechos y no con principios en los cuales siempre sospecho alguna falacia".<sup>28</sup>

Una dificultad básica cuando se aplica la razón en la investigación se deriva del hecho de que frecuentemente los términos no pueden ser definidos con precisión, y que rara vez las premisas son exactas o incondicionalmente verdaderas. Especialmente, las premisas en Biología son verdaderas sólo bajo ciertas circunstancias. Con el objeto de lograr, tanto un razonamiento cuidadoso como claridad de pensamiento, uno debe definir primero los términos que utiliza; pero en Biología, las definiciones exactas son frecuentemente difíciles o imposibles de lograr. Tomemos como ejemplo la afirmación "la influenza es causada por un virus". Originalmente, influenza fue un concepto clínico, es decir, una enfermedad definida sobre la base de características clínicas. Actualmente sabemos que el término influenza, fue utilizado por los clínicos para incluir varias enfermedades causadas por di-

ferentes microorganismos. El virólogo preferiría definir la influenza como una enfermedad causada por un virus dotado de ciertas características; pero con esto sólo se consigue trasladar la dificultad hacia la definición del virus de la influenza, el cual escapa a una definición precisa.

Todas estas dificultades pueden ser más o menos resueltas si aceptamos el principio de que en nuestros razonamientos sólo tratamos con probabilidades. En efecto, mucho de nuestro razonamiento en Biología podría ser más adecuadamente llamado especulación.

He mencionado algunas limitaciones inherentes en la aplicación del proceso lógico en la ciencia, pero una fuente más común y seria de error es el razonamiento incorrecto, tal como el cometer algunas falacias lógicas. Es un engaño creer que es fácil utilizar adecuadamente la razón y que para ello no se necesita ningún entrenamiento. En la siguiente sección he tratado de delinear algunas de las precauciones generales que pueden ser de utilidad recordar, cuando se utiliza la razón en la investigación.

#### PRECAUCIONES QUE DEBEN OBSERVARSE CUANDO SE UTILIZA LA RAZON EN LA INVESTIGACION

La principal consiste en examinar las bases de nuestros razonamientos. Esto involucra lograr un entendimiento tan claro como sea posible de lo que queremos significar con los términos que empleamos, y examinar cuidadosamente nuestras premisas. Algunas de ellas pueden ser hechos o leyes bien establecidos, mientras que otras podrían ser solamente suposiciones. Con frecuencia es necesario admitir provisionalmente algunas suposiciones no bien establecidas, en cuyo caso se debe tener mucho cuidado y no olvidar que ellas sólo son suposiciones. Michael Faraday nos previno contra la tendencia de la mente a "apoyarse sobre una suposición" y

olvidar que la misma no ha sido probada cuando aparentemente está de acuerdo con otro conocimiento. Se acepta, generalmente, que las suposiciones no comprobadas deben limitarse a un número mínimo y que deben preferirse aquellas hipótesis que posean el menor número de suposiciones (esto es lo que se conoce como la máxima de la parsimonia o *Occam's Razor*. Dicha máxima fue propuesta por William de Occam en el siglo XIV).

¡Cuán fácil resulta que las suposiciones no verificadas se deslicen furtivamente en nuestro razonamiento! A menudo son ayudadas a penetrar mediante expresiones tales como "obviamente", "por supuesto", "seguramente". Yo hubiera creído casi como segura la suposición de que la mayoría de los animales bien alimentados vivían más tiempo que los desnutridos; sin embargo, experimentos recientes con ratones han demostrado que aquellos animales cuya dieta se restringía hasta el punto de que la tasa de crecimiento de los mismos era subnormal vivían más tiempo que aquellos a quienes se permitía comer tanto como desearan.

Una vez que se ha logrado obtener un entendimiento claro de las bases de nuestro razonamiento, es esencial en cada etapa posterior hacer una pausa y precisar si todas las alternativas posibles han sido tomadas en consideración. Usualmente con cada paso que damos aumenta el grado de incertidumbre o suposición.

Es importante no confundir los hechos con sus interpretaciones, es decir, saber distinguir entre los datos y las generalizaciones. Los hechos sólo son datos de observaciones particulares relacionados con el pasado o con el presente. Por ejemplo, puede ser un hecho que cierta droga administrada a conejos los matara, pero decir que esa droga es tóxica para los conejos no es la afirmación de un hecho, sino una generalización o una ley a la cual se llegó mediante el proceso de inducción. El cambio del

tiempo pasado al presente involucra, generalmente, el paso de los hechos a la inducción. Es este un paso que debe ser dado a menudo pero sólo con una clara comprensión de lo que se está haciendo. El modo de interpretar los resultados también puede prestarse a confusión: estrictamente hablando, los hechos que se derivan de los experimentos sólo pueden ser descritos mediante la exposición exacta de lo ocurrido. Comúnmente, al describir un experimento interpretamos los resultados en otros términos, tal vez sin darnos cuenta de que nos apartamos de la exposición de los hechos.

Una dificultad con la cual siempre tropezamos, es que debemos argumentar hacia el futuro basados en el pasado o en el presente. La ciencia, si quiere ser de algún valor debe predecir. Debemos razonar a partir de los datos obtenidos en el pasado mediante la experiencia o la observación, y planificar de acuerdo para el futuro. Esto, especialmente en Biología, presenta dificultades especiales, ya que debido a lo incompleto de nuestros conocimientos, raramente podemos estar seguros de que las circunstancias cambiantes del futuro no influyan en los resultados.

Contemplemos, por ejemplo, la comprobación de una nueva vacuna contra una enfermedad. La vacuna puede ser efectiva en diversos experimentos, sin embargo, debemos ser cautelosos al predecir su efectividad en el futuro. En 1943 y 1945, la vacuna contra la influenza dio buenos resultados de protección en pruebas en gran escala efectuadas en Estados Unidos, pero en la epidemia de 1947, fracasó por completo. Considerado como un problema lógico, se asume una generalización (por ejemplo, que la vacuna es efectiva), mediante inferencia inductiva de los datos que poseemos. En el futuro, utilizamos deductivamente esta generalización aplicándola al problema particular de proteger a ciertas personas contra la enfermedad. Por supuesto, el punto difícil del razonamiento

es efectuar la inducción. Aquí, la lógica es de poca ayuda. Lo más que podemos hacer es abstenernos de generalizar hasta obtener un conjunto extenso de datos que nos sirvan de base firme para la inducción, y mientras tanto considerar cualquier conclusión basada en la inducción simplemente como tentativa o, tal como se dice corrientemente, tener cuidado con las generalizaciones. La estadística nos ayuda a extraer conclusiones de nuestros datos, garantizando que nuestras conclusiones poseen cierta precisión, pero aun las conclusiones estadísticas son estrictamente válidas sólo para aquellos eventos que han ocurrido.

Las generalizaciones jamás pueden ser comprobadas. Ellas podrían ser aceptadas si las deducciones obtenidas de las mismas están de acuerdo con las observaciones y hechos experimentales; pero si los resultados no concuerdan con las predicciones, tanto las hipótesis como las generalizaciones pueden ser descartadas. Sin embargo, un resultado favorable no necesariamente comprueba la generalización, ya que la deducción que se hace a partir de ella puede ser verdadera sin que la generalización lo sea. Se pueden lograr deducciones correctas a partir de generalizaciones palpablemente absurdas. Por ejemplo, la verdad en la hipótesis de que la peste es producida por los espíritus malignos no está respaldada por la correcta deducción de que puede evitarse la enfermedad manteniéndose fuera del alcance de dichos espíritus. En estricta lógica, una generalización nunca es comprobada y se mantiene indefinidamente como una interrogante; pero si logra sobrevivir todos los intentos de refutación, será aceptada en la práctica, especialmente si concuerda con un esquema teórico más amplio.

Si la lógica científica nos muestra que debemos ser cautos para arribar a una generalización, también por la misma razón nos indica que no debemos creer demasiado

en ninguna generalización, aunque ellas constituyan teorías y leyes ampliamente aceptadas.

Newton jamás consideró como verdad última las leyes que él formulara; por el contrario, la mayoría de sus seguidores lo hizo hasta que Einstein demostró lo bien fundada que había sido la actitud de Newton. ¡Cuán a menudo y en materias menos fundamentales observamos cómo se reemplazan ideas ampliamente aceptadas!

Por consiguiente, el científico debe poseer amplitud mental, no sólo en relación con sus propias opiniones, sino también con respecto a las ideas prevalentes. Theobald Smith decía:

"La investigación es fundamentalmente un estado mental, el cual involucra un continuo examen de las doctrinas y axiomas sobre las cuales se basan los pensamientos y acciones actuales. Por consiguiente, conserva una actitud crítica ante las prácticas existentes".<sup>85</sup>

Ninguna idea aceptada o "hecho establecido" debe considerarse como incuestionable si existe una observación que lo contradiga. Bernard escribió:

"Si se nos presenta una idea, no debemos rechazarla simplemente porque no esté de acuerdo con las deducciones lógicas de una teoría reinante".

Se han efectuado grandes descubrimientos mediante el uso de experimentos diseñados, los cuales omitían por completo las creencias aceptadas. Fue Darwin, evidentemente, quien introdujo la expresión "experimentos de tontos" para referirse a este tipo de experimento, los cuales muy a menudo llevaba a cabo para comprobar aquello que la mayoría de las personas no consideraba de valor.

En otras ocasiones de la vida, las personas pueden permitirse el tener ideas y prejuicios fijos, los cuales permiten que el pensar sea mucho más fácil, y para todos nosotros es una necesidad práctica mantener opiniones de-

finidas en muchos asuntos de la vida diaria, pero el investigador debe tratar de conservar su mente maleable y evitar tener ideas fijas en la ciencia. Debemos luchar para conservar nuestra mente receptiva y examinar todas las sugerencias hechas por los otros de una manera imparcial y de acuerdo con sus propios méritos, tratando de ver todos los argumentos, bien sea en pro o en contra de ellos. Debemos ser críticos, ciertamente, pero no permitir que las ideas sean rechazadas solamente porque una reacción automática cause el que veamos sólo los argumentos contrarios. Tendemos especialmente a resistir aquellas ideas que compiten con las nuestras.

Un hábito muy útil que los científicos deberían desarrollar, es el de no confiar en aquellas ideas que están basadas solamente en la razón. Tal como Trotter dice, ellas se presentan a nuestra mente muy a menudo dotadas de un inocente aspecto de obviedad y certeza. Algunos consideran que no existe el llamado razonamiento puro, excepto en las expresiones matemáticas. Prácticamente, todos los razonamientos están influenciados por prejuicios, sentimientos y experiencias pasadas, aun cuando sólo lo sea subconscientemente. Trotter escribió:

"Hablando en un sentido exacto, el intelecto desapasionado, la mente amplia, el observador sin prejuicio sólo existen en una forma de folklore intelectualista; aquellos estados que tratan aunque sólo sea de acercarse a esto, no pueden ser alcanzados sin un esfuerzo moral y emocional, el cual la mayoría de nosotros no puede o no quiere hacer".

Una treta mental bien conocida de los psicólogos es el "racionalizar", es decir, justificar mediante argumento razonado un punto de vista, el cual en realidad está determinado por juicios preconcebidos en la mente subconsciente, siendo esta última gobernada por el autointerés, consideraciones emocionales, instinto, prejuicios y factores si-

milares, de los cuales la persona, por lo general, no se da cuenta o no los admite ni aun a sí mismo. De un modo similar, W. H. George previene contra la creencia de que las cosas en la naturaleza deben conformarse a ciertos moldes y que todas las excepciones a estos moldes son anormales. El dice que el "mecanismo debe-ser" no tiene ningún lugar en la investigación y que abandonarlo por completo es una de las piedras fundamentales de la ciencia. Considera que es prematuro para un hombre preocuparse acerca de las técnicas de la experimentación, hasta que él mismo no haya logrado sentirse insatisfecho con ese modo de pensar del "debe-ser".

Algunos han llegado a decir que los científicos deben adiestrarse de manera de adoptar una actitud desinteresada hacia su trabajo. No puedo estar de acuerdo con este punto de vista, y opino que el investigador debe poseer suficiente dominio sobre sí mismo de modo que considere con ecuanimidad cualquier evidencia contraria a aquello que esperaba, en lugar de mostrarse desinteresado. Es mejor reconocer y encarar el peligro de que nuestro razonamiento pueda estar influenciado por nuestros deseos. También es tonto negarnos el placer de asociarnos de todo corazón con nuestras ideas, porque el hacer esto sería tanto como socavar uno de los principales incentivos de la ciencia.

Es importante distinguir entre interpolación y extrapolación. Interpolación significa llenar espacios dejados entre los hechos que forman una serie. Cuando trazamos una curva sobre una gráfica conectando los diversos puntos, estamos interpolando. Extrapolación consiste en ir más allá de una serie de observaciones sobre la base de que la misma tendencia se mantiene. Para la mayoría de los propósitos, la interpolación es permisible siempre y cuando se tenga una buena serie de datos de trabajo; pero la extrapolación es mucho más arriesgada. Con frecuencia, aquellas prolonga-

ciones aparentemente obvias de nuestras teorías que van más allá del campo experimental, pueden conducirnos a desviaciones erradas. El proceso de extrapolación es similar a implicación, y es útil para proporcionar sugerencias.

Una gran ayuda para entender mejor un problema consiste en escribir un informe con todos los datos disponibles, bien sea cuando se comienza una investigación, cuando se enfrenta cualquier dificultad, o cuando la investigación está en su fase final. También es muy útil al principio de una investigación, expresar claramente las preguntas que necesitan una contestación. El arreglo sistemático de los datos, descubre a menudo fallas en el razonamiento o pone de manifiesto líneas alternas de pensamiento que no se habían notado antes. Suposiciones y conclusiones, las cuales a primera vista fueron aceptadas como obvias, pueden ser indefendibles cuando se examinan críticamente. Algunas instituciones establecen como una regla para todos los investigadores, presentar un informe trimestral sobre el trabajo que se ha hecho y sobre aquel que se planea. Esto es muy útil, no sólo para el director, que de este modo se mantiene en contacto con todo lo que se desarrolla, sino también para los investigadores. Algunos directores prefieren un informe verbal, porque ellos consideran que este modo es más útil para ayudar a los investigadores a "tener sus ideas ordenadas".

El uso cuidadoso y correcto del lenguaje es una ayuda muy poderosa para el pensar exacto, porque para poner en palabras fielmente lo que queremos significar, necesitamos que nuestras mentes tengan un claro sentido de su significado. Es mediante el uso de palabras como nosotros razonamos, y la escritura es la expresión de nuestro pensamiento. Tanto la disciplina como la preparación al escribir, son probablemente el mejor entrenamiento para el razonamiento. Allbutt ha dicho que la dejadez en la escritura refleja un pensamiento descuidado y que la escritura

oscura, por lo general manifiesta un pensamiento confuso. El principal objetivo de los informes científicos es el de ser tan claros y precisos como sea posible, y tratar de hacer que cada sentencia signifique exactamente aquello para lo cual fue diseñada y no sea susceptible de tener otra interpretación. Aquellas frases o palabras que no posean un significado exacto deben ser evitadas, porque una vez que hayamos asignado un nombre a algo tenemos inmediatamente la sensación de que una posición ha sido aclarada, cuando muy a menudo lo contrario es lo cierto. "Un manto verbal de ignorancia es un ropaje que frecuentemente se opone al progreso".<sup>91</sup>

#### PAPEL DE LA RAZON EN LA INVESTIGACION

Aun cuando los descubrimientos se originan con mayor probabilidad a partir de resultados experimentales inesperados o de observaciones del mismo tipo antes que directamente del pensamiento lógico, la razón es, sin embargo, el agente principal en la mayor parte de los otros aspectos de la investigación y la guía de la mayoría de nuestras acciones. Ella es el instrumento principal cuando se formulan las hipótesis, cuando se juzga la corrección de las ideas que nos proporciona la imaginación y la intuición, cuando planeamos experimentos y decidimos cuáles observaciones deben hacerse, al evaluar cualquier evidencia, al interpretar nuevos hechos, cuando se hacen generalizaciones y, finalmente, cuando se intenta encontrar extensiones y aplicaciones de un descubrimiento.

Los métodos y funciones del descubrimiento y de las pruebas en la investigación son tan diferentes como aquellas de un detective y de un juez en un juzgado. Mientras hace el papel de detective, el investigador sigue diferentes pistas, pero una vez que capta los hechos, se convierte en un juez y examina el caso mediante la dis-

posición lógica de la evidencia. Ambas funciones son igualmente esenciales; sin embargo, son diferentes.

En Biología, en los descubrimientos de "hechos", es donde la observación y la casualidad (empirismo) juegan un papel muy importante. Pero aquellos hechos que obtenemos mediante la observación y el experimento, por lo general sólo adquieren significación cuando se utiliza la razón para amoldarlos dentro del cuerpo general de conocimientos. Darwin decía:

"La ciencia consiste en agrupar hechos de tal modo que de ellos puedan ser deducidas conclusiones o leyes generales".<sup>28</sup>

En la investigación no basta con coleccionar hechos; podemos ir mucho más lejos interpretándolos y viendo su significación. Walshe considera que tan importante como efectuar un descubrimiento es lo que hacemos luego con él o con aquellos de otras personas.<sup>100</sup> Hughlins Jackson dice:

"Poseemos multitudes de hechos, pero a medida que se acumulan necesitamos organizarlos en conocimientos superiores. Requerimos generalizaciones e hipótesis de trabajo".

El reconocimiento de un principio general nuevo es la consumación del estudio científico.

Aquellos descubrimientos que se originan de las llamadas observaciones casuales o de resultados inesperados en los experimentos o de las intuiciones, son dramáticos y llaman mucho más la atención que los que resultan de la experimentación puramente racional, en la cual cada paso sigue lógicamente al anterior de modo que el descubrimiento se desarrolla gradualmente. Sin embargo, este último, aunque de proceso menos espectacular puede ser responsable por muchos más adelantos de lo que se

ha querido significar en los otros capítulos de este libro. Más aún, y tal como Zinsser decía:

"La acumulación preparatoria de los descubrimientos menores y de los detalles observados con precisión... es casi tan importante para el adelanto, como la correlación periódica de dichas observaciones inconexas en principios y leyes mediante la visión de los genios".<sup>108</sup>

Muy a menudo, cuando se escudriña dentro del origen de un descubrimiento, se encuentra que él mismo fue un proceso mucho más gradual de lo que se había imaginado.

El descubrimiento inicial de diversas vitaminas fue muchas veces empírico, pero el subsecuente desarrollo de su conocimiento fue racional. Generalmente, en Quimioterapia después del descubrimiento empírico inicial, que abre el camino, la experimentación racional conduce a una serie de adelantos, tales como en el desarrollo del sulfatiazol, sulfamerazina, sulfaguanidina, etc., los cuales fueron consecutivos al descubrimiento inicial de la sulfanilamida, primer compuesto de este tipo que se descubrió poseer propiedades bacteriostáticas.

Tal como se describe en el Apéndice, Fleming aprovechó las posibilidades que le brindó una observación casual para descubrir que el hongo *Penicillium notatum*, producía una sustancia que tenía propiedades bacteriostáticas y no era tóxica. Sin embargo, él no continuó el trabajo lo suficiente como para desarrollar un agente quimioterapéutico, y la investigación fue abandonada. Durante los últimos años del siglo pasado y la primera parte de éste, se escribieron docenas de informes sobre el descubrimiento de sustancias antibacterianas producidas por bacterias y hongos.<sup>43</sup> La penicilina misma fue descubierta antes de Fleming y Florey.<sup>114</sup> Un gran número de autores había sugerido no sólo que éstos productos podían ser



útiles terapéuticamente, sino, aún más, los habían empleado y en algunos casos parece que se habían obtenido buenos resultados.<sup>43</sup> Sin embargo, todos estos descubrimientos empíricos fueron de poca importancia hasta que Florey, mediante un ataque planeado y sistemático del problema, produjo la penicilina en una forma estable y relativamente pura, y de este modo fue capaz de demostrar su gran valor clínico. Muy a menudo, el descubrimiento original, del mismo modo que la materia prima extraída de la mina, es de poco valor hasta que ha sido refinado y completamente desarrollado. Este último proceso, menos espectacular y en gran modo racional, requiere usualmente un tipo diferente de científico y con frecuencia un equipo de ellos. El papel de la razón en la investigación no radica tanto en explorar las fronteras del conocimiento como en desarrollar los hallazgos de los exploradores.

Un tipo de razonamiento que no hemos mencionado todavía es el razonamiento por analogía, el cual juega un papel muy importante en el pensar científico. Una analogía es una semejanza entre las relaciones de las cosas, no entre las cosas mismas. Cuando uno nota que la relación existente entre  $A$  y  $B$ , se asemejan a la relación que existe entre  $X$  e  $Y$  en un punto cualquiera, y se sabe que  $A$  está relacionada con  $B$  en otros puntos, esta relación sugiere el que se busquen relaciones similares entre  $X$  e  $Y$ . La analogía es de gran valor, ya que puede sugerir indicios o hipótesis y nos ayuda a entender fenómenos y ocurrencias que no podemos ver. Se utiliza continuamente en el lenguaje y pensamiento científicos; pero siempre debemos recordar que la analogía puede ser engañosa y, por supuesto, nunca prueba nada.

Tal vez, es conveniente mencionar aquí que los filósofos científicos modernos tratan de evitar las nociones de causa y efecto. La actitud actual es que las teorías cien-

tíficas intentan describir las asociaciones entre los diferentes eventos sin tratar de explicar la causa. La idea de causa, considerada como necesidad inherente, da origen a dificultades filosóficas y en Física teórica esta idea puede ser ventajosamente abandonada, ya que en ella no existe la necesidad de postular un enlace entre la causa y el efecto. Por lo tanto, desde este punto de vista, la ciencia se reduce a describir los "cómo" y no los "por qué".

Este enfoque ha sido desarrollado especialmente en relación a la Física teórica. En Biología, el concepto de causa y efecto es todavía utilizado en la práctica, pero cuando hablamos de "la" causa de un evento, estamos realmente simplificando demasiado una situación compleja. Muchos factores están envueltos en la ocurrencia de un suceso; pero en la práctica, usualmente ignoramos o damos por sentado aquellos que están siempre presentes o son conocidos, y singularizamos como "la" causa un factor no común, o que atrae nuestra atención por una razón especial. La causa de un brote de peste puede ser, para el bacteriólogo el microbio presente en la sangre de las víctimas; para el entomólogo, las pulgas portadoras que diseminan la enfermedad; para el epidemiólogo, las ratas que han escapado de los barcos y traído la infección al puerto.

#### SUMARIO

El origen de los descubrimientos está más allá del alcance de la razón. El papel que la razón desempeña en la investigación, consiste no tanto en hallar nuevos hechos como en interpretarlos, verificarlos y desarrollarlos. La mayoría de los "hechos" y teorías biológicas, son verdades tan sólo bajo ciertas condiciones y nuestro conocimiento es tan incompleto que, cuando más, sólo podemos razonar sobre probabilidades y posibilidades.

Capítulo N° 8

OBSERVACION

*El conocimiento proviene del hecho de notar repeticiones y semejanzas en aquellos acontecimientos que se suceden alrededor de nosotros.*

WILFRED TROTTER

ILUSTRACIONES

Pasteur tenía curiosidad por saber cómo el ántrax persistía endémicamente en ciertas regiones, ocurriendo en los mismos campos algunas veces con intervalos de varios años. Logró aislar el organismo causal de la tierra cercana a aquellos sitios en los cuales ovejas muertas de esa enfermedad, habían estado enterradas, algunas veces por un tiempo hasta de doce años. El hecho de que este organismo pudiera resistir durante tanto tiempo la luz solar y otras condiciones adversas lo sorprendió. Un día mientras caminaba por los campos, notó un pedazo del terreno de un color diferente del resto y preguntó a un granjero la razón de esto. Este le contestó que en ese sitio habían sido enterradas el año anterior algunas ovejas que habían muerto de ántrax.

"Pasteur, que siempre observaba todas las cosas cuidadosamente, notó en la superficie del suelo un gran número de lombrices de tierra. Entonces se le ocurrió la idea de que los gusanos, en sus repetidos viajes desde lo profundo del suelo a la superficie, llevaban hasta ella aquella

tierra que se encontraba alrededor del cadáver y junto con ella las esporas de ántrax. Pasteur nunca se conformaba solamente con sus ideas, sino que de inmediato las llevaba al campo experimental. Este confirmó sus conjeturas. La tierra contenida en uno de los gusanos, inoculada a un conejillo de indias, produjo ántrax".<sup>78</sup>

Es este un buen ejemplo del valor de la observación personal directa. Si Pasteur se hubiera dedicado a pensar sentado en una mecedora es poco probable que hubiera logrado aclarar este problema epidemiológico.

Claude Bernard notó una vez en su laboratorio, que algunos conejos comprados en el mercado orinaban claro y ácido en lugar de alcalino y turbio, como es lo común con los animales herbívoros. Bernard razonó que tal vez estos animales habían ayunado largo tiempo metabolizando sus propios tejidos, por lo cual se encontrarían en una condición nutricional semejante a los carnívoros. Bernard logró confirmar su razonamiento mediante el simple proceso de alternar en los animales los períodos de alimentación y ayuno, logrando de este modo alterar la reacción de la orina tal como había sido anticipada por él. Esta fue una bonita observación, la cual hubiera satisfecho a la mayoría de los investigadores, pero no a Bernard. El requería una "contraprueba" y para ello alimentó a los conejos sólo con carne. Tal como lo esperaba, la orina se volvió ácida, y para completar aún más el experimento, llevó a cabo una autopsia en los conejos. Usando sus propias palabras:

"Me di cuenta de que los linfáticos blancos y lechosos eran primero visibles en el intestino delgado en la parte inferior del duodeno, más o menos 30 cm por debajo del píloro. Este hecho llamó mi atención porque en los perros los linfáticos se observan en una posición mucho más alta en el duodeno, inmediatamente debajo del píloro".

Al observar más atentamente, Bernard vio que la abertura del conducto pancreático coincidía con aquella posición en la cual los linfáticos comenzaban a contener quilo, el cual se tornaba de color blanco mediante la emulsificación con el material graso. Esta observación condujo al descubrimiento del papel que el jugo pancreático desempeña en la digestión de las grasas.<sup>15</sup>

Darwin nos cuenta un incidente el cual ilustra cómo uno de sus colegas y él dejaron de observar ciertos fenómenos inesperados cuando ambos se encontraban explorando un valle:

"Ninguno de nosotros vio el maravilloso fenómeno glaciár que nos rodeaba, no logramos notar las rocas claramente entalladas ni los cantos rodados ni las morrenas laterales y terminales".<sup>28</sup>

Todas estas cosas no fueron observadas porque no se esperaban o no se trataba específicamente de buscarlas.

Mientras observaba los movimientos de la bacteria responsable de la fermentación butírica, Louis Pasteur notó que cuando los microorganismos llegaban cerca del borde de la gota, dejaban de moverse. El pensó que esto era debido a la presencia de oxígeno en la parte de la preparación que estaba más cerca del aire. Al tratar de resolver el significado de esta observación, concluyó que no existía oxígeno libre donde la bacteria se movía activamente. A partir de esta conclusión, llegó a la posterior deducción de que puede existir vida sin oxígeno, lo que en esa época se consideraba imposible. Posteriormente, postuló que la fermentación es un proceso metabólico a través del cual los microbios obtienen el oxígeno de las sustancias orgánicas. Estas importantes ideas que Pasteur demostró más tarde, tuvieron su origen en la observación de un detalle que muchos no habrían notado.

Muchas de las anécdotas que hemos citado en los Capítulos 3 y 4 y en el Apéndice también proveen ejemplos o ilustraciones del papel desempeñado por la observación en la investigación.

#### ALGUNOS PRINCIPIOS GENERALES EN LA OBSERVACION

Al comentar acerca de lo poco digna de confianza que son las observaciones de eventos rutinarios por testigos oculares, decía W. H. George:

"Lo que se observa depende de quien lo está mirando. Para lograr algún acuerdo entre diversos observadores es necesario que ellos presten atención, que sus vidas no se encuentren en peligro consciente, que sus necesidades vitales estén satisfechas y que no sean tomados por sorpresa. Si ellos están observando un fenómeno pasajero, el mismo debe ser repetido muchas veces y los observadores preferiblemente no sólo deben mirar, sino mejor aún, buscar cada detalle".<sup>17</sup>

Como ejemplo de la dificultad que involucra el llevar a cabo observaciones cuidadosas, George cuenta la siguiente historia:

Durante una de las sesiones de un congreso de Psicología que se efectuaba en Gotinga, un hombre entró precipitadamente en el salón, perseguido por otro que portaba un revólver. En seguida se entabló una breve lucha en el centro del local, se escuchó un disparo, y ambos hombres se apresuraron a salir aproximadamente veinte segundos después de haber entrado al salón. De inmediato, el coordinador de la sesión exigió de los presentes que escribieran una relación de todo lo que habían presenciado. Aun cuando para ese momento los observadores no lo sabían, todo el incidente había sido arreglado previamente, ensayado y fotografiado. De los cuarenta in-

formes presentados, sólo uno tenía menos del veinte por ciento de errores relativos a los hechos principales, catorce tenían de un 20 a un 40 por ciento de errores, y veinticinco más de un 40 por ciento de errores. El rasgo distintivo más importante fue que en más de la mitad de los relatos, aproximadamente un 10 por ciento de los detalles contados fueron pura invención. Estos pobres resultados fueron obtenidos a pesar de que las circunstancias eran favorables, ya que todo el incidente fue de corta duración y lo suficientemente interesante como para llamar la atención, todos los detalles fueron escritos de inmediato por gente acostumbrada a la observación científica, ninguna de las cuales estuvo directamente envuelta en el asunto. Este tipo de experimento es llevado a cabo muy a menudo por los psicólogos y casi siempre produce resultados similares.

Tal vez, la primera cosa que debe notarse acerca de la observación, es que los observadores no sólo dejan de ver frecuentemente cosas obvias, sino, lo que es aún más importante, muy a menudo se inventan observaciones inexactas. Estas falsas observaciones pueden ser debidas a ilusiones, bien sea que los sentidos den informaciones erradas a la mente, o que los errores puedan tener su origen en la misma mente.

Diversas figuras geométricas suministran buenos ejemplos de ilusiones ópticas (ver, George)<sup>17</sup> del mismo modo que las distorsiones causadas por la refracción de la luz cuando atraviesa agua, vidrio o aire caliente.

Uno de los ejemplos más notables de lo poco segura que son las observaciones visuales está dado por los trucos de los "magos" y prestidigitadores. Otro ejemplo de este tipo de falsa información originada en los órganos de los sentidos, puede comprobarse sumergiendo una mano en agua caliente y la otra en agua fría durante algunos

momentos y luego ambas en agua tibia. Una curiosa falacia de este tipo fue anotada por el antiguo historiador griego Herodoto:

"El agua de este riachuelo es tibia al amanecer. A la hora de ir al mercado es más fría, alcanzando su máxima frialdad al mediodía; por consiguiente, es a esta hora cuando ellos riegan sus jardines. A medida que la tarde avanza, la frialdad del agua va desapareciendo, hasta que a la hora del ocaso es otra vez tibia".

Con toda probabilidad, la temperatura del agua se mantenía constante y el cambio notado era debido a la diferencia entre las temperaturas atmosféricas y la del agua. Observaciones falsas de tipo similar suelen producirse a partir de ilusiones sonoras.

El segundo tipo de error cometido, cuando se anotan o informan observaciones, tiene su origen en la misma mente. Muchos de estos errores pueden atribuirse al hecho de que la mente posee una tendencia inconsciente a llenar vacíos utilizando tanto experiencias pasadas como conocimientos y expectativas conscientes. Goethe ha dicho:

"Vemos sólo aquello que conocemos".

Un viejo adagio nos recuerda: "Nos inclinamos a ver de preferencia aquello que está detrás de nuestros ojos, antes de lo que se encuentra delante de ellos". Un ejemplo de esto puede notarse en la película del león persiguiendo a un hombre. La cámara muestra en tomas alternas al león persiguiendo y al hombre huyendo, y luego de repetir esto varias veces, observamos que el león salta sobre algo que se halla oculto en la alta hierba. Aun cuando el león y el hombre pueden no haber aparecido juntos en la pantalla, la mayoría de las personas del público se convence de que ciertamente vieron al león saltar sobre el hombre. Otro ejemplo de error subjetivo, lo provee la siguiente anécdota: Mientras dictaba una clase prác-

tica, un médico de Manchester sumergió un dedo en una muestra de orina de diabético, con el objeto de probarla, luego pidió a sus estudiantes que repitieran la acción, lo cual, aun cuando con pocas ganas y mucho desagrado, hicieron, manifestando todos estar de acuerdo en que el sabor era dulce. "Hice esto —dijo el médico sonriendo—, para demostrarles la importancia de fijarse en los detalles. Si me hubieran observado cuidadosamente habrían notado que fue el dedo índice el que sumergí en la orina, mientras era el dedo medio el que me llevaba a la boca".

Es conocimiento común que cuando personas diferentes ven la misma escena notan cosas diferentes, de acuerdo con sus intereses básicos. Si se trata de una escena campestre, un botánico verá las diferentes especies de plantas, un zoólogo, los animales, un geólogo, las estructuras geológicas, un granjero, las plantaciones, animales de granja, etc. Un habitante de la ciudad desprovisto de cualquiera de estos intereses, sólo verá una escena agradable. La mayoría de los hombres puede pasar todo un día en compañía de una mujer y luego ni siquiera recordar el tipo de vestido que ella usaba, pero a la mayoría de las mujeres le basta sólo unos minutos de visita con otra mujer para poder describir cada uno de los objetos que la otra llevaba puesto.

Es muy posible ver algo repetidamente sin que la mente lo registre. Por ejemplo, un extranjero recién llegado a Londres, comentaba con un londinense acerca de los ojos pintados delante de los autobuses, lo cual fue una verdadera sorpresa para el londinense, quien nunca antes lo había notado. Pero a partir de ese momento y durante las próximas semanas siempre estuvo consciente de esos ojos cada vez que veía un autobús.

Cualquier cambio en una escena familiar es notado a menudo, aun cuando el observador no se haya dado cuenta previamente de los detalles de la escena. Más aún,

a veces, un observador puede sentir que algo ha cambiado y, sin embargo, no ser capaz de decir en qué consiste ese cambio. Al discutir este punto, decía W. H. George:

"Parece como si la memoria conservara algo parecido a un negativo fotográfico de cualquier escena que le sea muy familiar. Al observar por segunda vez estas escenas, la imagen de la memoria se sobrepone inconscientemente sobre la imagen visual presente y del mismo modo como sucede con dos placas fotográficas, la atención es atraída de inmediato hacia aquellos sitios que no coinciden, es decir, hacia donde existe un cambio relativo entre ambas placas. Es digno de mencionarse el que este recuerdo total, no siempre pueda ser memorizado lo suficientemente como para describir todos los detalles".<sup>47</sup>

La analogía antes expuesta, no debe ser aceptada por completo, ya que el mismo fenómeno acontece con otro tipo de recuerdo, tales como cuentos o música. Cualquier niño familiarizado con un determinado cuento, notará cualquier variación ligera cuando lo escucha de nuevo, aun cuando él mismo no sea capaz de contarle por completo. George continúa:

"La percepción de los cambios parece ser una propiedad de todos los órganos de los sentidos, ya que se nota rápidamente cualquier cambio en sonido, gusto, olores y temperatura... Casi podría decirse que un sonido continuo sólo es «oído» cuando éste cesa o cambia".<sup>47</sup>

Si consideramos que esta comparación de viejas y nuevas imágenes se efectúa en el subconsciente, podemos trazar una analogía con el modo cómo las intuiciones penetran a la mente consciente. Podría esperarse que una persona se diera cuenta de cualquier cambio notable, aun cuando fuera incapaz de traer a la conciencia todos los detalles.

Es muy importante darse cuenta que la observación es mucho más que el simple ver algo; porque envuelve además un proceso mental. En todas las observaciones existen dos elementos: a) El elemento sensorio perceptible (por lo general, visual), y b) El mental, el cual, como hemos visto, puede ser en parte consciente y en parte inconsciente. Cuando el primer elemento es de poca importancia relativa, puede ser difícil distinguir entre una observación y una intuición ordinaria. Es este el tipo de cosas que usualmente se considera como observación; cuando se dice, por ejemplo: "He notado que sufro de fiebre del heno cada vez que me acerco a los caballos". Tanto la fiebre del heno como los caballos son obvios, pero es la relación entre ambos la que puede requerir astucia para ser notada, y este es un proceso mental difícil de distinguir de una intuición. A veces es posible trazar una línea divisoria entre intuición y observación. Fue Aristóteles quien comentó que cualquiera que "observe" que el lado iluminado de la luna mira siempre hacia el sol, puede ocurrírsele súbitamente que la explicación radica en que la luna brilla debido a la luz solar. Similarmente, en tres de las anécdotas citadas al comienzo de este capítulo la observación fue seguida por una intuición.

#### OBSERVACION CIENTIFICA

Hemos visto cuan incierto puede ser cualquier informe de un observador acerca de una situación compleja. Aún más, los fenómenos sencillos pueden ser difíciles de observar y describir con la precisión debida. Los experimentos científicos aíslan un determinado evento y tratan de observarlo mediante la ayuda de técnicas e instrumentos apropiados, los cuales han sido desarrollados porque están relativamente libre de errores y proporcionan resultados reproducibles, acordes con el conjunto general de los

conocimientos científicos. Claude Bernard distingue dos tipos de observación: a) Las observaciones espontáneas o pasivas, las cuales son inesperadas, y b) Las observaciones activas o inducidas, las cuales se buscan deliberadamente, casi siempre a causa de una hipótesis. Aquí estamos interesados principalmente en la primera.

La observación espontánea efectiva, involucra primariamente el observar algún objeto o evento. La cosa observada se convertirá en significativa, sólo si la mente del observador, bien sea consciente o inconscientemente, la relaciona con alguna experiencia o conocimiento prominente pasado, o si al reflexionar acerca de la misma logra desarrollar subsecuentemente alguna hipótesis. En la última sección, se hizo notar el hecho de que la mente es muy sensible a los cambios o diferencias. Esto es muy útil en la investigación científica, pero aún más importante y difícil es observar (en este caso, principalmente un proceso mental) semejanzas o correlaciones entre cosas que aparentemente no guardan ninguna. La cita de Trotter que encabeza este capítulo se refiere a ese punto. Se requirió el genio de Benjamín Franklin para lograr notar la relación que existía entre la electricidad generada por fricción y el rayo.

Uno no puede observar todo detenidamente, por lo tanto, debemos discriminar e intentar seleccionar sólo lo significativo. Cuando se cultiva una rama científica, el observador "adiestrado" busca deliberadamente aquellas cosas específicas, las cuales, su mismo adiestramiento le ha enseñado que son importantes; pero en el campo de la investigación, el investigador tiene que confiar a menudo en su propia discriminación, guiada por su conocimiento científico general, su propio juicio y, tal vez, la hipótesis que mantenga. Tal como ha dicho Alan Gregg:

"La mayoría del conocimiento y mucho del genio del investigador se basa en la habilidad que posea para se-

leccionar aquello que merece ser observado. Es esta una escogencia crucial, la cual a menudo determina el éxito o fracaso de meses de trabajo y muy frecuentemente diferencia al descubridor brillante del... ajetreado".<sup>48</sup>

Cuando se le pedía a Faraday que observara un experimento, siempre preguntaba por aquello que debía mirar específicamente, aun cuando siempre fuera capaz de observar otras cosas. El seguía el principio enunciado por George en la sección precedente, según el cual todos los detalles deben ser esperados y observados. Sin embargo, esto es de poca ayuda cuando se efectúan observaciones originales. Claude Bernard opinaba que los experimentos debían ser observados con una mente amplia porque de otro modo al esperar algo en especial en base de ideas preconcebidas muchas otras cosas podían pasar desapercibidas. Esto, según él, es uno de los grandes obstáculos del método experimental, debido a que si se deja de observar aquello que se había previsto, puede llevarse a cabo una falsa observación. "Despojaos de vuestra imaginación —dijo él—, del mismo modo que os quitáis el abrigo cuando se entra en el laboratorio". Al escribir acerca de Charles Darwin, decía su hijo:

"El deseaba aprender tanto como fuera posible de un experimento y, por lo mismo, no se confinaba a la observación del punto al cual se dirigía el experimento, y su poder de ver diferentes cosas era maravilloso. Poseía una cualidad mental, la cual, parecía ser de especial y extrema utilidad para guiarlo y efectuar un descubrimiento. Era esto el poder de no dejar pasar nunca las excepciones".<sup>28</sup>

Si al experimentar confinamos nuestra atención sólo hacia aquellas cosas que esperamos, es posible que se nos escapen los sucesos imprevistos y pueden ser ellos, aun cuando al principio nos parezcan inquietantes y problemáticos, los que nos conduzcan a hechos insospechados. Se ha dicho que es el fenómeno excepcional quien puede

conducir a la explicación de lo común. Cuando se nota una irregularidad, es bueno buscar aquello con lo cual puede estar asociada. La mejor actitud para llevar a cabo observaciones originales, es tratar de no concentrarse exclusivamente en el punto principal, sino intentar observar lo inesperado, recordando siempre que la observación no consistió en la espera pasiva, sino que es un proceso mental activo.

La observación científica de un objeto involucra un escrutinio muy minucioso aun de ser necesario, con ayuda de lentes. Dibujar y anotar todos los detalles es un medio valioso para impulsarnos a la observación precisa. Es esta la razón principal para exigirle a los estudiantes trabajos de dibujos en las clases prácticas. El profesor F. M. Burnet ha llevado a cabo autopsias de decenas de millares de ratones durante sus investigaciones sobre influenza; sin embargo, examina los pulmones de cada ratón con la ayuda de lentes y dibuja cuidadosamente las lesiones que observa. Al anotar las observaciones científicas, debemos ser tan precisos como nos sea posible.

El poder de observación puede desarrollarse mediante el hábito de observar todas las cosas con mente inquisitiva y activa. No es exagerado decir que los hábitos de observación bien desarrollados son más importantes para la investigación que un gran cúmulo de aprendizaje académico. Esta facultad se atrofia muy pronto en la civilización moderna, mientras que en el salvaje, puede estar fuertemente desarrollada. El científico necesita desarrollarla y para ello tanto el trabajo práctico en el laboratorio, como en la clínica, pueden ser una gran ayuda. Por ejemplo, cuando se observa un animal, uno debe mirarlo sistemáticamente, y notar conscientemente, por ejemplo: raza, edad, sexo, marcas especiales, conformación, orificios naturales, si el abdomen está lleno o vacío, las glándulas mamarias, condición de la piel, comportamiento y movi-

mientos, cualquier peculiaridad y notar el ambiente circunvecino, incluyendo las heces o residuos alimentarios. Por supuesto, todas estas observaciones son preliminares o apartes al examen clínico si el animal está enfermo.

Al llevar a cabo cualquier observación, se busca deliberadamente cualquier característica que de antemano se conozca deba existir, cualquier rasgo extraordinario y especialmente asociaciones o relaciones capaces de sugerir algo entre las cosas que se ven o entre ellas y las que se conocen. Quiero significar con este último punto, tales cosas como notar que en un cultivo bacteriano algunas colonias inhiban o favorezcan a las colonias vecinas, o que en una observación de campo se noten asociaciones entre una enfermedad y el tipo de pasto, clima o sistema de administración. La mayoría de las asociaciones observadas son producto de la casualidad y carecen de significación, pero ocasionalmente alguna de ellas puede conducir hacia alguna idea fructífera. Al efectuar esto es buena idea olvidarse de las estadísticas y considerar la posibilidad de que exista algo de valor detrás de estas sutiles asociaciones de los datos observados, ya que los mismos podrían ser desechados si se contemplan con una base matemática. Mayor número de descubrimientos han nacido de la observación intensa de un material limitado, que de un gran grupo estudiado mediante la aplicación de la estadística. El valor de ésta reside principalmente en comprobar las hipótesis que brotan de la primera. Mientras se observa, debe mantenerse una actitud mental meditativa y contemplativa y buscar cualquier pista que deba seguirse.

El adiestramiento en la observación sigue los mismos principios que cualquier otro tipo de adiestramiento. Al comienzo, las cosas deben hacerse consciente y laboriosamente; pero con la práctica, la actividad se convierte en automática e inconsciente y se establece el hábito. La ob-



servación científica efectiva requiere también una buena base de conocimientos, porque sólo estando familiarizado con lo corriente, podemos notar algo que sea diferente o inexplicado.

#### SUMARIO

La observación precisa de las situaciones complejas es extremadamente difícil y los observadores cometen, por lo general, muchos errores inconscientes. La observación efectiva involucra el notar algo y darle significación con otro algo conocido o notado anteriormente; de este modo contiene tanto un elemento sensorio perceptible como un elemento mental.

Es imposible observarlo todo y por esto el observador tiene que dedicar la mayor parte de su atención a un campo seleccionado, pero al mismo tiempo debe estar siempre a la expectativa de las cosas extrañas.

#### Capítulo Nº 9

### DIFICULTADES

*El error nos rodea y furivamente penetra en nosotros en la menor oportunidad. Todo método es imperfecto.*

CHARLES NICOLIE

#### RESISTENCIA MENTAL A LAS NUEVAS IDEAS

Cuando los grandes descubrimientos de la ciencia fueron efectuados, aparecieron de modo muy diferente a como los apreciamos en la actualidad. Raramente se reconoció la ignorancia previa sobre el sujeto, porque o bien existía una ceguera voluntaria hacia el problema y las personas casi no notaban su existencia, o existían nociones aceptadas sobre el mismo, las cuales debían ser desechadas o reemplazadas por nuevos conceptos. El profesor H. Butterfield, hace notar que el más difícil de todos los actos mentales, es aquel que consiste en cambiar el orden habitual de un conjunto de datos, mirarlos luego de un modo diferente y así, escapar de una doctrina prevalente.<sup>20</sup> Fue éste el gran obstáculo intelectual que se opuso a tales iniciadores, como Galileo, obstáculo que en menor grado surge en todos los descubrimientos originales importantes. Muchas cosas que hoy en día son fáciles de entender aun para los niños, tales como los hechos elementales del sistema planetario, necesitaron la colosal proeza intelectual de un genio para con-

cebirlas cuando las mentes estaban condicionadas con las nociones aristotélicas.

El descubrimiento de la circulación sanguínea por W. Harvey, pudo haber sido relativamente fácil de no haberse opuesto al mismo las creencias, tan en boga para la época, de que la sangre fluía y retrocedía dentro de los vasos sanguíneos, de que existían dos especies de sangre y de que la misma era capaz de pasar de un lado al otro del corazón. La primera causa de desacuerdo que encontró Harvey con esas doctrinas fue su hallazgo de la dirección que mostraban las válvulas de las venas de la cabeza y el cuello —un pequeño hecho contradictorio a las hipótesis aceptadas hasta entonces—. Harvey diseccionó no menos de ochenta especies animales, incluyendo reptiles, crustáceos e insectos, empleando para esta investigación, muchos años. La mayor dificultad, para lograr establecer el concepto de la circulación, consistía en la ausencia de una conexión visible entre las arterias terminales y las venas y por esto se vio obligado a postular la existencia de los capilares, los cuales no fueron descubiertos sino hasta más tarde. Harvey sólo dedujo el concepto de circulación, ya que no pudo demostrarlo. Requirió verdadero valor para enunciar sus cálculos acerca de la cantidad de sangre que el corazón impulsaba. El mismo Harvey escribía:

"Pero, lo que aún queda por decir acerca de la cantidad y origen de la sangre que de este modo pasa, es de un carácter tan novel y extraordinario, que no sólo temo que la envidia de unos pocos me perjudique, sino que también me estremece la posibilidad de tener a la humanidad como enemigo, ya que los hábitos y costumbres se convierten en una segunda naturaleza y, tanto cualquier doctrina firmemente implantada como el respeto por la tradición, influyen enormemente en todos los hombres; sin embargo, la suerte está echada y mi confianza reposa en

mi amor a la verdad y en la sinceridad inherente a las mentes cultas".<sup>105</sup>

Sus temores estaban bien fundados, ya que desde ese momento fue objeto de injurias y burlas y hasta su práctica profesional sufrió enormemente. Sólo después de una larga lucha de más de veinte años, fue aceptada por todos su teoría de la circulación de la sangre.

Otros ejemplos de resistencia a las nuevas ideas, los proveen las historias de Jenner y Mules contadas anteriormente y la de Semmelweis, descrita posteriormente en este capítulo.

Vesalius, al referirse a sus primeros estudios anatómicos, nos cuenta que le era difícil creer a sus propios ojos, cuando encontró estructuras que no estaban de acuerdo con las descripciones de Galeno. De hecho, hombres de menos valor desacreditaron lo que había logrado ver, o cuando menos, pensaron que existía alguna falla en el sujeto de disección o en su propia habilidad manual. Es curioso cuán a menudo es difícil reconocer un hecho nuevo e inesperado, aun cuando sea obvio. Sólo aquellas personas que nunca se han hallado cara a cara con un hecho nuevo, se ríen de la incapacidad de los observadores medievales para creer en lo que observaban. Los estudiantes inexpertos son propensos a ignorar aquellos resultados y observaciones experimentales que no concuerdan con los libros de texto o con sus propias ideas.

La mente humana tiene la tendencia a juzgar casi todos los asuntos de acuerdo con sus propias experiencias, conocimientos y prejuicios, antes que con la evidencia presentada. Es por esto, que cualquier nueva idea se juzga según las creencias prevalentes. Si las ideas son demasiado revolucionarias, es decir, si se apartan demasiado de las teorías reinantes y no pueden ajustarse al conjunto de los conocimientos en uso, entonces, esas ideas lucen inaceptables. Cuando los descubrimientos se llevan

a cabo antes de su tiempo, serán ignorados con casi seguridad, o encontrarán una oposición difícil de vencer, de tal modo que en la mayoría de los casos hubiera dado lo mismo no efectuarlos. La doctora Marjory Stephenson, compara a estos descubrimientos hechos antes de tiempo, a las posiciones de avanzada utilizadas en la guerra para capturar una posición determinada. Si el ejército principal se encuentra demasiado alejado para prestar el apoyo necesario, entonces, el puesto de avanzada se perderá y deberá ser recapturado más tarde.<sup>89</sup>

McMunn descubrió el citocromo en 1886, pero ello no tuvo ninguna significación hasta que treinta y ocho años más tarde Keilin lo redescubrió e interpretó. El descubrimiento de los principios genéticos básicos por Mendel, es otro buen ejemplo de la incapacidad aun del mismo mundo científico para reconocer la importancia de un descubrimiento. Su trabajo sentó las bases de una nueva ciencia, a pesar de lo cual y aun cuando fue publicado en una buena revista científica, se ignoró durante treinta y cinco años. Fisher ha dicho que pareciera como que cada generación encontrara en los escritos de Mendel, todo aquello que esperaba encontrar e ignoraba todo lo que no se conformaba con lo esperado.<sup>88</sup> Sus contemporáneos sólo vieron en este trabajo una repetición de los experimentos de hibridación ya publicados; la generación próxima apreció la importancia de los puntos relativos a la herencia, pero los consideró difícil de reconciliar con la teoría de la evolución. Y ahora, Fisher nos dice que alguno de los resultados obtenidos por Mendel, cuando se juzgan a la fría luz de los métodos estadísticos modernos, muestran evidencias de no ser completamente objetivos, es decir, están parcializados en favor de los resultados esperados!

Tal vez, el trabajo actual de algunos psicólogos sobre percepciones y precogniciones extrasensoriales, pueda ser

en el presente un ejemplo de descubrimiento antes de su tiempo. La mayoría de los científicos hallan difícil aceptar las conclusiones presentadas por esos psicólogos a pesar de evidencias aparentemente irrefutables, y esto se debe a que las conclusiones obtenidas no pueden reconciliarse con el conocimiento actual que se tiene del mundo físico.

Mucho más fácil de aceptar, a menos que sean hechos por un empírico, son aquellos descubrimientos efectuados a su debido tiempo, ya que encuentran apoyo y encajan perfectamente en los conceptos existentes; más aún, brotan como una consecuencia lógica de los conocimientos de ese momento. Este tipo de descubrimiento está destinado a ocurrir como una parte de la corriente principal de la evolución científica y puede aparecer más o menos simultáneamente en diferentes partes del mundo. Tyndall decía:

"Antes de que cualquier principio científico importante sea enunciado claramente por un individuo, el mismo se encuentra latente más o menos claro en la mente científica general. La meseta intelectual es bastante alta y los descubridores son aquellos que semejantes a las cumbres que sobresalen en esta meseta, se elevan un poco sobre el nivel general del pensamiento de la época".<sup>95</sup>

Existe en todos nosotros una tendencia psicológica a resistirse a cualquier nueva idea que venga del exterior, del mismo modo como existe una resistencia psicológica a cualquier innovación realmente radical en el modo de comportarse o en el vestir. Tal vez, esta resistencia tenga su origen en ese impulso innato, conocido anteriormente con el nombre de instinto de rebaño. Este mal llamado instinto conduce al hombre a conformarse, dentro de ciertos límites, con las costumbres convencionales y a oponerse a cualquier desviación importante que otro miembro del rebaño trate de introducir en las ideas o costum-

bres en uso. Al contrario, el mismo instinto presta una validez espuria a aquellas creencias ampliamente diseminadas, sin fijarse si las mismas están o no fundamentadas sobre evidencias concretas. Usualmente, este comportamiento instintivo se racionaliza, pero "las razones" son secundarias, ya que la mente las modela o forma, sólo para justificar sus opiniones.

Wilfred Trotter decía:

"A la mente le gusta tan poco una idea extraña como al cuerpo una proteína extraña, y se opone a ella con similar energía. Tal vez no sea aventurado decir, que una nueva idea es el antígeno de más rápida acción conocido por la ciencia. Si nos observáramos honestamente hallaríamos que muy a menudo y aun antes de que una idea haya sido completamente expuesta, ya hemos comenzado a combatirla".<sup>94</sup>

Cuando una persona adulta se da cuenta por primera vez de algo nuevo, trata por lo general de atacarlo o escapar de ello.<sup>47</sup> Es esta la llamada reacción de "ataque-escape". El ataque puede tomar forma suave, tal vez como el ridículo y el escape puede incluir simplemente el tratar de olvidar. La forma de ataque que se le dispensó al primer hombre que utilizó paraguas fue una exhibición del mismo tipo de reacción que tan a menudo se pone de manifiesto hacia los nuevos descubrimientos de la ciencia. Con frecuencia, estos ataques van acompañados de racionalizaciones —el atacante, presenta "las razones" por las cuales ataca o rechaza la idea—. El escepticismo es frecuentemente una reacción automática para protegernos contra una nueva idea. Muy a menudo nos damos cuenta de que automáticamente estamos resistiendo una nueva idea que alguien nos presenta. Tal como dice Walshe, el prurito de sofocar a las ideas recién nacidas arde en todos nosotros.<sup>101</sup>

Dale ha descrito el ridículo que acompañó al primer anuncio hecho por Röntgen acerca del descubrimiento de los rayos X. Un rasgo interesante de la historia consistió en que el gran físico J. J. Thomson no compartió el escepticismo general, sino al contrario, mantuvo la convicción de que el informe comprobaría su validez. Del mismo modo, cuando Becquerel anunció su descubrimiento de que las sales de uranio emitían radiaciones, lord Rayleigh le dio crédito, mientras la mayoría dudaba. Tanto Thomson como Rayleigh poseían mentes que no estaban encadenadas por los puntos de vista ortodoxos.

Algunos descubrimientos han tenido que ser efectuados varias veces antes de ser aceptados. Al escribir acerca de esta resistencia hacia las nuevas ideas, Schiller decía:

"Un curioso resultado de esta inercia digna de estar colocada entre las "leyes" fundamentales de la naturaleza, es que cuando un descubrimiento gana tardío reconocimiento, se encuentra por lo general que el mismo ya había sido anticipado y a menudo con razones convincentes y lujo de detalles. El darwinismo, por ejemplo, puede remontarse a través de los tiempos, hasta Heráclito y Anaximandro".<sup>80</sup>

No es poco común para aquellos que se oponen a una innovación, basar su juicio sobre una actitud de "todo o nada", es decir, si la innovación no provee una solución completa al problema práctico, no sirve. Esta irrazonable actitud previene o retarda algunas veces, la adopción de adelantos que podrían ser muy útiles en ausencia de algo mejor. Todos conocemos científicos que se oponen testarudamente a ser convencidos por cualquier evidencia que apoye un descubrimiento contrario a sus ideas preconcebidas. Tal vez el escéptico persistente cumple un propósito útil para la comunidad, pero debo admitir que yo no lo admiro. ¡Se dice que aún hoy en día existe una

asociación formada por personas que todavía insisten que el mundo es plano!

Sin embargo, y a pesar de lo desesperante y dañino que resulta a menudo la resistencia a los descubrimientos, puede llenar una función amortiguadora en la comunidad, al impedir la aceptación apresurada de las ideas hasta tanto no hayan sido bien probadas y tratadas. De no ser por esta actitud conservadora innata, las ideas locas y la charlatanería serían más comunes de lo que ya lo son. Nada puede ser más dañino para la ciencia que el abandono de la actitud crítica y su reemplazo por la aceptación, apresurada, de hipótesis adelantadas sobre evidencias tenues. El científico inexperto, a menudo puede equivocarse por su deseo de creer en cualquier idea plausible. Superficialmente, nuestra reacción ante cualquier innovación, parecería ser un ejemplo del problema general de conservatismo contra progresismo. Estas actitudes mentales, pueden inducir subconscientemente a una persona para decidirse entre uno u otro lado en una disputa; pero es nuestro deber hacer lo posible por contrarrestar ambas actitudes. Nuestra meta ha de ser un juicio honesto y objetivo de la evidencia, tratando de liberar nuestra mente tanto como nos sea posible, de cualquier opinión que no esté basada en hechos y no omitir juicio cuando la evidencia sea incompleta. Existe una diferencia muy importante entre una actitud crítica mental ("facultad crítica") y una actitud escéptica.

#### OPOSICION A LOS DESCUBRIMIENTOS

Anteriormente nos hemos ocupado de la resistencia psicológica hacia las nuevas ideas. En esta sección discutiremos algunos otros aspectos de la oposición a los descubrimientos. Muy a menudo, las innovaciones encuentran oposición debido a que son demasiado perturbadoras

para las autoridades consagradas y los intereses creados, entendidos ambos en el más amplio sentido de los términos. Zinsser cita a Bacon, cuando dice que aquellos dignatarios que han logrado alcanzar altos honores por hechos pasados, se disgustan al ver que la corriente del progreso, se aleja demasiado rápidamente de su alcance. Zinsser comenta:

"A medida que envejecemos en una ciencia que avanza rápidamente, nuestra labor consiste en mantener la capacidad de gozar con aquellos descubrimientos que corrijan a las viejas ideas y al mismo tiempo aprender de nuestros alumnos mientras los enseñamos. Esta es la única profilaxia contra la pseudoenfermedad de la edad madura".<sup>108</sup>

Algunas veces, la misma personalidad del descubridor es un agravante de los trastornos que causa la innovación. Comúnmente, los descubridores son personas con muy poca experiencia o habilidad en relaciones humanas y muchas molestias podrían haberse evitado con un poco más de diplomacia. Eso podría explicar el hecho de que Harvey triunfara eventualmente mientras Semmelweis fracasaba. Semmelweis carecía de tacto por completo, mientras Harvey dedicó su libro al rey Carlos y trazó un paralelo entre este rey y sus dominios, y el corazón y el cuerpo. Su biógrafo Willis, dice que Harvey poseía una notable habilidad para persuadir y atraer a todos aquellos con quienes trataba. Harvey dijo:

"El hombre viene a este mundo desnudo y desarmado, tal como si la naturaleza lo hubiera destinado a ser una criatura social y, por lo mismo, ordenado que debía vivir en paz bajo leyes equitativas; como si ella hubiera deseado que el hombre debía ser guiado por la razón".

Al discutir a sus críticos enfatizaba:

"Mantengo, que devolver mal por mal es indigno de un filósofo (científico) y buscador de la verdad".<sup>115</sup>

M. Faraday decía, al escribir acerca del mismo asunto:

"La verdad nunca deja de aparecer, y cualquier opositor si no está en lo correcto, se convence más rápidamente cuando se le replica con indulgencia, que cuando se le anonada".<sup>95</sup>

El descubridor, especialmente si es joven e inexperto, necesita valor para mantener su opinión respecto al significado de su hallazgo, contra la indiferencia y el escepticismo de los demás, y lograr proseguir sus investigaciones. Nos regocijamos al leer el valor demostrado por hombres como Harvey, Jenner, Semmelweis y Pasteur, ante la oposición, pero ¿cuántas investigaciones promisorias no habrán sido abandonadas y olvidadas por falta de valor y celo del investigador? Trotter cuenta la historia de J. J. Waterston, quien en 1845 escribió un artículo sobre la teoría molecular de los gases, anticipando en él mucho del trabajo de Joule, Clausius y Clerk Maxwell. El consultor de la Royal Society a quien se envió el artículo, opinó:

"El artículo no tiene sentido" y el trabajo fue olvidado durante cuarenta y cinco años, al cabo de los cuales, fue exhumado. Waterston vivió en la oscuridad y desengañado durante muchos años y finalmente desapareció sin dejar rastro. Tal como decía Trotter, esta historia debería causar escalofrío a cualquier persona impaciente por el avance de la ciencia. Tal vez, y de una manera similar, muchos descubrimientos han nacido muertos o han sido matados al nacer. Sólo conocemos los sobrevivientes.

Aun cuando en la actualidad, en la mayoría de los países, no existe riesgo alguno para proseguir cualquiera de los campos científicos ortodoxos, sería ingenuo concluir que la reacción y el oscurantismo son cosas del pasado. Hace sólo unos cuantos años que Einstein sufrió en Alemania una organizada y virulenta campaña de persecución y ridículo,<sup>45</sup> y en 1925, en los Estados Unidos,

en el famoso "Tennessee Monkey Trial", un profesor fue procesado por enseñar la evolución. En los Estados totalitarios, tal como se ha visto en el régimen nazi y ahora en Rusia —en el caso de la controversia sobre genética—, la intromisión de la política en la ciencia puede introducir autoritarismo en la misma, con la consecuente supresión del trabajo de aquellos que, en lo referente a las teorías y materias científicas, no desean doblegarse ante el mandato de un partido.<sup>5</sup> Todavía persiste una débil forma de reacción en aquellas organizaciones o sociedades opuestas a la vacunación y a la vivisección. No debemos tampoco sentirnos demasiado complacidos, pues aun en los círculos científicos actuales, un nuevo descubrimiento puede ser ignorado u opuesto si en principio es muy revolucionario y si el mismo fue llevado a cabo por alguien fuera del círculo consagrado. Aun hoy en día puede ser necesario para el descubridor demostrar valor en sus convicciones.

Se ha dicho que la aceptación de una contribución original puede dividirse en tres fases: durante la primera se la ridiculiza como falta a la verdad, imposible o inútil; en la segunda fase, la gente admite que tal vez haya algo en la contribución, pero que nunca será de valor práctico; en la tercera y última fase, cuando el descubrimiento ha recibido reconocimiento general, todavía existen personas que dicen que no es original y que fue ya anticipado por otro. Theobald Smith, habló certeramente cuando dijo:

"El goce de la investigación debe encontrarse en el solo acto de hacer, ya que toda otra satisfacción es incierta"<sup>86</sup>

Es un hecho común que en el pasado, la persecución fue casi siempre la única recompensa obtenida por los científicos por sus contribuciones a la humanidad. Un buen ejemplo de este curioso hecho nos lo da la historia de lo acontecido a Ignas Semmelweis cuando demostró

cómo evitar el sufrimiento y la pérdida de vidas por causa de la fiebre puerperal, tan común para ese entonces en los hospitales europeos.

En 1847 se le ocurrió a Semmelweis la idea de que esa enfermedad era transmitida a las mujeres por las manos de los profesores y estudiantes, que venían del salón de autopsia. Con el objeto de destruir "el material cadavérico", Semmelweis instituyó la rutina estricta del lavado de las manos con una solución de hipoclorito antes de efectuar el examen de las pacientes. Como resultado inmediato de este procedimiento, la mortalidad por fiebre puerperal bajó en la clínica obstétrica del Hospital General de Viena de un 12 a un 3 por ciento, llegando más tarde hasta un 1 por ciento. Su doctrina fue bien recibida en algunas partes y hasta llegó a ser aplicada en algunos hospitales, pero tales ideas revolucionarias, las cuales incriminaban a los obstetras como portadores de la muerte, despertaron fuerte oposición de las autoridades consagradas y, como consecuencia se llegó hasta despedirlo de su posición de asistente. Semmelweis se alejó de Viena y fue a Budapest, donde aplicó sus métodos con éxito completo. Pero su doctrina no avanzaba y aun un hombre de ciencia de la categoría de Virchow la combatió. Entonces escribió un libro, su famosa *Etiología*, considerado hoy en día como uno de los clásicos de la literatura médica; pero no logró ni aun venderlo. La frustración, lo convirtió en un ser amargado e irascible y entonces se dedicó a escribir artículos, acusando de asesinos a aquellos que no adoptaban sus métodos. Estos intentos sólo hallaron el ridículo y finalmente Semmelweis, en 1865, alcanzó un final trágico en un asilo para dementes. Como una ironía, unos pocos días después de ser recluso en el asilo, halló la muerte por causa de una herida infectada recibida en uno de los dedos en su última operación ginecológica: otra víctima de la infección para la prevención de la cual

había dedicado toda su vida. Su fe en la verdad última de su doctrina no se destruyó jamás. En la patética introducción de su *Etiología* escribió:

"Cuando miro hacia el pasado sólo puedo desechar la tristeza que se apodera de mí tratando de vislumbrar ese futuro feliz, cuando la infección sea desterrada. Pero si no me es concedida la oportunidad de verlo con mis propios ojos... el convencimiento de que tarde o temprano llegará ese momento, alegrará la hora de mi muerte".

El trabajo de otros, especialmente de Tarnier y Pasteur en Francia y Lister en Inglaterra, obligaron al mundo a reconocer diez años más tarde que Semmelweis tenía la razón.

Probablemente, el fracaso de Semmelweis para vencer a la gente, se debió a que no existía una explicación satisfactoria acerca del valor de desinfectarse las manos, hasta que se demostró que las bacterias podían ser causa de enfermedades, y también probablemente ayudó a su fracaso, el hecho de que él no poseía mucho tacto o diplomacia. No está muy claro si los esfuerzos de Semmelweis ejercieron alguna influencia en la aceptación final de los principios que descubrió. Parece ser que otros también resolvieron el mismo problema independientemente.<sup>84</sup>

#### ERRORES DE INTERPRETACION

A falta de un lugar más apropiado, mencionaré aquí algunas de las fallas más comunes en las cuales se incurre al interpretar observaciones o resultados experimentales.

Probablemente, la fuente más notoria de falacias es *post hoc, ergo propter hoc*, es decir, atribuir una relación causal entre lo que se ha hecho y lo que se deriva, especialmente, cuando se concluye "sin los controles adecua-

dos", que el resultado ha sido influenciado por algún factor de interferencia. Todas nuestras acciones y razón se basan en la suposición legítima, de que todos los eventos tienen su causa en lo acontecido anteriormente; pero muy a menudo, se yerra al atribuir un papel causal a cualquier evento o interferencia particular, el cual en realidad puede no haber desempeñado ningún papel en el resultado. La fe que el gran público tiene en las medicinas, se basa en gran parte en este tipo de falacia. Hasta muy recientemente, las medicinas no tenían gran efecto terapéutico, y por lo mismo ejercían poca influencia en el curso de la enfermedad para la cual se administraba; sin embargo, la mayoría de las personas creía firmemente al recuperarse que se lo debían a la medicina. Un gran número de personas, incluyendo aun médicos, creen firmemente que ciertas vacunas bacterianas previenen el resfriado común, debido a que por una afortunada coincidencia algunos pacientes no han experimentado la enfermedad al año siguiente de la vacunación. Sin embargo, todos los experimentos, debidamente controlados, llevados a cabo con tipos similares de vacunas, han demostrado concluyentemente que estos productos no poseen ningún valor contra el resfriado común. La única forma de evitar este tipo de falacia, es el experimento controlado.

Se incurre en la misma falsedad lógica al asumir erróneamente que cuando se demuestra una asociación entre dos eventos debe existir necesariamente una relación de causa y efecto. Algunas veces se obtienen datos que demuestran que la incidencia de cierta enfermedad es mucho mayor en las partes más bajas de una ciudad o en aquellas partes donde existe mayor concentración de humo. De acuerdo a estos datos, el autor puede concluir que el humo o las zonas bajas, predisponen hacia esa enfermedad. Muy corrientemente, este tipo de conclusiones son injustificadas y la verdadera causa debe buscarse en las

condiciones de pobreza y exceso de población que, por lo general, se encuentran en estas áreas insalubres. Virchow, al tratar de refutar la doctrina de Semmelweis acerca de la causa de la fiebre puerperal, aseguraba que el clima jugaba un papel muy importante, ya que la mayor incidencia ocurría durante el invierno. Semmelweis replicaba que esta asociación era debida a que durante el invierno, los estudiantes pasaban más tiempo trabajando sobre cadáveres.

Pueden deducirse falsas conclusiones al atribuir papel causal a un nuevo factor introducido en el experimento, cuando de hecho, la causa puede radicar en el retiro del factor que fue reemplazado. Pruebas llevadas a cabo en personas acostumbradas a tomar café por las noches, pueden demostrar que las mismas duermen mejor al ingerir otra bebida en lugar de café. Se puede pretender que la nueva bebida induce al sueño, mientras que sería muy posible que este efecto haya sido causado por haber dejado de tomar café. Similarmente, en los experimentos dietéticos se han deducido a veces falsas conclusiones, al reemplazar una sustancia por otra nueva. En estos casos se ha logrado comprobar que el supuesto efecto del nuevo factor se debía a la ausencia del componente reemplazado. Se halló que la floración de algunas plantas era influida al suplementar la luz natural con luz artificial. Se creyó en un principio que el fenómeno se debía a que se alargaba "el día", pero posteriormente se encontró que la explicación correcta radicaba en que se acortaba "la noche", ya que un breve período de iluminación en la media noche, era mucho más efectivo para lograr este efecto que períodos prolongados de iluminación al atardecer o en la madrugada.

Siempre existe un gran riesgo cuando las conclusiones alcanzadas al experimentar con una especie determinada tratan de aplicarse a otra. Muchos errores fueron



cometidos al concluir que el hombre o los animales domésticos necesitaban tal o cual vitamina por el hecho de que las ratas u otro animal de experimentación las necesitasen; hoy en día siempre se tiene en cuenta la posibilidad de cometer este error. Recientemente, se produjo el mismo tipo de trastorno en quimioterapia. Aquellas sulfas que producían los mejores resultados en el hombre no siempre reproducían los mismos en algunos de los animales domésticos infectados con idéntica bacteria.

Una causa de falacia aún más insidiosa consiste en no darse cuenta de que pueden existir varias causas diferentes para un mismo proceso. W. B. Cannon,<sup>22</sup> trae un comentario acerca de la falsa deducción una vez publicada de que la adrenalina no desempeñaba ningún papel en el control de los niveles del azúcar sanguíneo, mediante el proceso de movilizar el azúcar hepático, ya que los niveles de azúcar en la sangre se mantienen aún después de extirpar la médula adrenal. El hecho es que existen otros métodos para movilizar las reservas de azúcar del hígado; pero ninguno es tan efectivo como la adrenalina. El escalofrío por sí solo puede prevenir una baja de temperatura corporal, pero eso no prueba que no existan otros procesos que también desempeñen una parte importante. Una variante de esta "falacia de una sola causa" ha sido descrita por Winslow.<sup>207</sup> Cuando una combinación de dos factores causa algo, y siempre está presente uno de los factores, suele concluirse temerariamente que el otro factor es el único causal. Durante el siglo XIX se creía que las condiciones insalubres por sí solas eran la causa de las fiebres entéricas. Sin embargo, los microbios responsables estaban presentes universalmente y la incidencia de la enfermedad era determinada por la presencia o ausencia de condiciones sanitarias. La causa de una enfermedad es a menudo muy compleja, consistiendo en una combinación de microbios causales, condiciones necesarias para su

transporte de un huésped a otro y factores que influyan sobre la susceptibilidad del huésped. Cualquier acontecimiento es el resultado de un conjunto de factores causales, uno de los cuales con frecuencia señalamos como "la" causa debido a que comúnmente no está presente como lo están los otros.

A veces se obtienen conclusiones erróneas acerca de la incidencia de alguna condición dada sobre una población, cuando la observación se basa en una sección de esa población que no es representativa del total. Por ejemplo, varios libros de texto incluyeron datos, generalmente aceptados, de la proporción de niños de diferentes edades que mostraban reacción negativa a la prueba de Schick para la difteria. Algunos años más tarde, se halló que estas cifras eran verdaderas sólo para aquellos niños de las clases más pobres, que por lo general eran atendidos en los hospitales públicos. Para otros sectores de la población, las cifras eran muy diferentes. Cuando fui a los Estados Unidos en 1938, casi ninguna de las personas que logré conocer se expresaba bien del presidente Roosevelt, pero el método estadístico del doctor Gallup para probar la opinión pública, demostró que más del 50 por ciento de la población apoyaba a Roosevelt. Existe la gran tentación de generalizar sobre la base de nuestras observaciones o experiencias aun cuando, a menudo, las mismas a su vez no se basan sobre muestras lo suficientemente escogidas como para ser representativas. Bacon previene contra la posibilidad de incurrir en error por confiar en las impresiones:

"El entendimiento humano es excitado en mayor grado por todo aquello que choca y penetra en la mente de golpe y súbitamente y que de inmediato llena e infla a la imaginación. Entonces, el entendimiento comienza casi imperceptiblemente a concebir y suponer que todo es si-

mililar a los pocos objetos que han sido impresionados en la mente”.

Una manera muy común de cometer errores, consiste en hacer suposiciones injustificadas en base de evidencia incompleta. Para citar un ejemplo clásico, Roberto Koch al hablar en la disertación en la cual enunció sus famosos postulados, describió la forma cómo había sido inducido a error por asumir algo que parecía muy razonable. Durante su trabajo inicial sobre el bacilo de la tuberculosis, Koch había obtenido cepas de una gran variedad de especies animales y luego de someterlas a una serie de pruebas, había llegado a la conclusión de que todos los bacilos tuberculosos eran similares. Sólo en el caso del bacilo aviar omitió hacer pruebas de cultivo y patogenicidad, debido a que carecía de material fresco. Sin embargo, ya que la morfología era similar, consideró que este microorganismo de origen aviar era igual que al de otros animales. Más tarde recibió varias cepas atípicas de bacilo tuberculoso, las cuales se convirtieron en un verdadero rompecabezas, a pesar de las exhaustivas investigaciones a que fueron sometidas. Según sus palabras:

“Cuando fallaron todos los intentos para descubrir una explicación a esta discrepancia, un accidente aclaró el problema”.

Koch logró obtener algunas aves con tuberculosis y al cultivar el microorganismo:

“Vi, con sorpresa, que poseían las mismas apariencias y todos los otros caracteres de los cultivos misteriosos”.

Fue así como Koch logró encontrar que los bacilos tuberculosos de origen aviar y de mamíferos eran diferentes.<sup>57</sup> Incidentalmente, esta referencia que encontré mientras buscaba algo diferente parece haber estado “perdida”, ya que los libros de texto actuales mantienen que

no existe evidencia de que Koch jamás haya adelantado los bien conocidos postulados contenidos en esta disertación. Muy fácilmente, un investigador puede perder el camino al intentar aislar un agente infeccioso mediante inoculación y pasas por animales de experimentación. Muchos ratones portan en las fosas nasales virus latentes, los cuales pueden ser introducidos en los pulmones y multiplicarse allí cuando se inoculara cualquier material por vía intranasal. Si los pulmones de estos ratones se utilizan para inocular otros ratones en la misma forma, puede desarrollarse una neumonía y como resultado se puede concluir erróneamente, que ha sido aislado un virus a partir del material original. Del mismo modo, cuando se intenta aislar un virus, mediante inoculación en la dermis, es muy posible iniciar una condición transmisible, que tenga su origen en el medio ambiente y no en el inóculo original.

Las primeras investigaciones en moquillo canino inculparon a cierta bacteria, aislada en casos de la enfermedad, como el agente causal, ya que al inocularla posteriormente lograba desarrollar una enfermedad parecida al moquillo. Cuando más tarde se demostró que era un virus la causa verdadera de la enfermedad, se hizo entonces evidente que los investigadores originales se habían equivocado, bien fuese porque habían aislado un invasor secundario o porque las medidas de cuarentena, para las perros utilizados en el experimento, no habían sido suficientemente rígidas.

Una vez que el investigador ha hecho todo lo posible para poner de manifiesto los errores de su trabajo, puede obtener seguridad adicional sometiéndolo a la crítica constructiva de sus colegas. Es un verdadero imprudente quien envía sus informes para ser publicados sin haberlos hecho antes pasar bajo el microscopio de la crítica constructiva de sus colegas.

## SUMARIO

La resistencia mental en contra de las nuevas ideas se debe, en parte, a la oposición que existe a desplazar las ideas establecidas. Por lo general, los hechos nuevos no son aceptados, a menos que puedan relacionarse con los conocimientos existentes; a menudo, no basta con que puedan demostrarse en base a evidencia independiente. Por consiguiente, los descubrimientos prematuros usualmente se descuidan o pierden. Una resistencia mental instintiva e irrazonable es la base real del conservatismo y del excesivo escepticismo.

Las persecuciones de las cuales han sido objeto los grandes descubridores, se han debido, en parte, a la resistencia mental a las nuevas ideas y, en parte, a los trastornos que se causan a las autoridades consagradas y a los intereses creados, bien sean materiales o intelectuales. A veces, la falta de tacto por parte del descubridor agrava el problema. Probablemente, muchos descubrimientos han sido matados al nacer por la oposición. El oscurantismo y el autoritarismo no han muerto aún.

Entre las posibles fuentes de falacia, están incluidos: *post hoc, ergo propter hoc*, la comparación de grupos separados en el tiempo, el deducir que cuando dos factores están relacionados, esta relación es una de causa-efecto, y el generalizar a partir de observaciones llevadas a cabo en muestras que no son representativas.

## Capítulo N° 10

# ESTRATEGIA

*Trabaje, Termine, Publique.*

MICHAEL FARADAY

## PLAN Y ORGANIZACION DE LA INVESTIGACION

Innumerables han sido las discusiones que se han llevado a cabo sobre el sujeto del planeamiento en la investigación. El desacuerdo más importante radica en los méritos relativos de las investigaciones pura y aplicada, la proporción de investigación que debe ser planificada en un país y el grado de la misma. Los partidarios extremos de la planificación, consideran que el único tipo de investigación que tiene algún valor, es aquella que se lleva a cabo con un deliberado intento de resolver alguna necesidad social, y que la investigación pura, rara vez es algo más que una diversión elegante e inútil. Por otra parte, los antiplanificadores (en Inglaterra existe una sociedad denominada Prolibertad de la Ciencia), sostienen que el investigador organizado se convierte en un investigador rutinario, debido a que con la pérdida de la libertad individual, la originalidad se marchita.

Muy a menudo, las discusiones acerca de la planificación en investigación se vuelven confusas, por falta de aclarar qué es lo que se entiende por planificación. Es útil distinguir tres niveles diferentes de planificación. El primero de estos niveles lo forma el trabajo en sí, llevado

a cabo por el investigador encargado del problema. Este corresponde a las tácticas en la guerra, se efectúa en corto tiempo y raramente va más allá del próximo experimento. El segundo nivel involucra planeamientos sobre objetivos más lejanos y amplios y corresponde a la estrategia en la guerra. Los planes a este nivel no están confinados, solamente a la persona encargada del problema, sino que a menudo conciernen también al director de investigaciones y al comité técnico y, finalmente, existe el plan de acción general. Este tipo de planeamiento es llevado a cabo en su mayor parte por un comité, el cual decide los problemas y proyectos que deben ser investigados y cuáles investigadores deben recibir ayuda.

Se ha hecho notar anteriormente que muchos descubrimientos han sido imprevistos y que los elementos principales en la investigación biológica son esfuerzos intensamente individuales: a) Al reconocer el descubrimiento inesperado y desarrollarlo, y b) Esfuerzos mentales prolongados y concentrados, los cuales traen por consecuencia el nacimiento de nuevas ideas. Probablemente, los descubrimientos más importantes se producen con mucho menor frecuencia, cuando se parte de datos acumulados sistemáticamente de acuerdo con delincamientos planificados. No es un hecho, como algunos suponen, que no puede encontrarse la solución a un problema hasta que no se tenga un conocimiento fundamental sobre el mismo. Frecuentemente un descubrimiento empírico se lleva a cabo, y resulta ser la solución, aun cuando la parte racional se deduzca más tarde. Una de las principales moralejas que deben extraerse de los descubrimientos descritos a lo largo de este libro es que el investigador, una vez que ha decidido tomar un curso de acción, no debe ponerse anteojeras, y evitar que al igual de un caballo de tiro, confinar su atención sólo al camino que tiene por delante y no ver nada de lo que tiene a los lados.

En base a la experiencia que puede ganarse a partir de la historia de los descubrimientos científicos se deduce que existen muchas probabilidades de que las investigaciones sean menos fructíferas cuando son planificadas por un comité, que cuando la persona que lleva a cabo el trabajo de investigación, desarrolla sus propias tácticas a medida que la investigación avanza. Para la mayoría de los experimentadores, la investigación es una cosa individualista y, por lo tanto, la responsabilidad con respecto al planeamiento táctico es mejor dejarlo al individuo, el cual dedicará todas sus energías mentales al problema si se le conceden los incentivos y recompensas, que son esenciales para la investigación fructífera. Un exceso de supervisión puede desalentar fácilmente a la iniciativa, ya que raramente un hombre pondrá todo su corazón en un problema a menos que lo sienta como propio. Simón Flexner, fundador del Instituto Rockefeller para la Investigación Médica, siempre creyó que se podía confiar en que las ideas de los propios investigadores fueran mejores que aquellas que otros pudieran suplirles.<sup>77</sup> Ni siquiera debe esperarse que un científico se adhiera a todos los detalles del programa de trabajo que él mismo haya diseñado, sino que debe permitírsele que lo varíe tal como lo requiera el desarrollo del mismo.

El profesor W. W. C. Topley decía:

"Todos los comités son peligrosos y deben ser observados cuidadosamente. Yo creo que un comité de investigación puede hacer sólo una cosa útil y sólo una. Ello es hallar los investigadores mejor preparados para resolver un problema particular, reunirlos, darles las facilidades que necesiten y dejarlos solos para que efectúen su trabajo. Puede aún revisar los progresos que se hagan de tiempo en tiempo e insinuar los ajustes necesarios, pero si trata de ir más lejos, sólo causará daño."<sup>92</sup>

Tanto los comités técnicos como los directores de investigación, a menudo pueden ser de gran ayuda en las planificaciones al nivel estratégico, siempre y cuando actúen en conjunto con el hombre que lleva a cabo el trabajo y no intenten imponer las tácticas. Los comités son de mayor valor al planificar a nivel de los cursos de acción, bien sea llamando la atención hacia aquellos problemas de importancia para la comunidad o facilitando las finanzas y los científicos necesarios. Otra función muy útil que, algunas veces, un comité puede llevar a cabo, consiste en procurar que los investigadores de laboratorios diferentes estén mutuamente informados de los progresos que se llevan a cabo sin necesidad de esperar las publicaciones. Durante el tiempo de la guerra, algunos comités rindieron un servicio muy útil, al coordinar de esta manera el trabajo aislado.

Tal vez, es tan obvio que no merece la pena mencionar que la planificación a los niveles estratégicos y de acción, impone una fuerte responsabilidad sobre los planificadores y es posible que sólo tenga éxito cuando esta responsabilidad se deposite en personas que no sólo tengan una comprensión real de la investigación, sino también un buen conocimiento general de la ciencia. Generalmente se acepta que un comité que trate programas de investigación al nivel estratégico, debe estar formado principalmente, por hombres ocupados activamente en el campo de la investigación al cual pertenezca el problema. Los administradores que no son investigadores se inclinan, algunas veces, hacia lo más seguro y apoyan sólo aquellos proyectos planificados con todo detalle y que siguen las líneas convencionales de trabajo. Muy raramente, los adelantos dignos de mención, se llevan a cabo sin afrontar riesgo.

Los planes y proyectos son más indicados para encarar problemas específicos, es decir, para la investiga-

ción aplicada, pero la ciencia también necesita al científico independiente, que prosigue la investigación pura, sin pensar en los resultados prácticos.

Usualmente, cuando se trabaja en conjunto, algún individuo o grupo de individuos debe asumir la dirección. Existen, indudablemente, algunos científicos que no están capacitados para llevar a cabo investigación independiente y que, sin embargo, pueden ser muy útiles cuando trabajan bajo dirección inmediata como miembros de un equipo. En igualdad de condiciones, aquella persona que posea una imaginación fértil será mucho mejor conductor, que alguien con una mente puramente lógica, ya que el primero es más inspirador, al mismo tiempo que más útil para proveer ideas. Pero el conductor de un equipo debe estar activamente comprometido en el problema. En otras palabras, el investigador del laboratorio y no el administrador de oficina, puede hacer una mejor planificación táctica. Cuando no exista un conductor reconocido del equipo, el problema puede dividirse de tal modo que cada persona capaz de trabajo independiente asuma aquel aspecto del problema por el cual se ha responsabilizado.

Lo que debe evitarse a toda costa es que el equipo de trabajo efectúe una planificación demasiado rígida y detallada. Sin embargo, cuando se lleva a cabo un trabajo de equipo, el mismo debe ser o estar lo suficientemente coordinado, de modo que cada uno de los miembros no sólo entienda el aspecto especial de la parte que le toque, sino que tenga un buen conocimiento del problema como un todo. Los principios del trabajo por equipo, fueron muy bien expresados por Ehrlich: "Centralización de la investigación, manteniendo la independencia del investigador". Todos los planes deben ser considerados sólo como tentativos y sujetos a revisión a medida que el trabajo progresa. No se deben confundir la planifi-

cación de la investigación con la de los experimentos individuales. Nadie puede discutir las ventajas de dedicar un gran cuidado a la planificación de los experimentos y luego llevarlos a cabo de acuerdo con el plan elaborado.

El trabajo por equipo es esencial en las investigaciones sobre problemas que puedan cubrir diferentes, o varias ramas de la ciencia; por ejemplo, la investigación de una enfermedad determinada llevada a cabo mediante el clínico, el bacteriólogo y el bioquímico. Los grandes equipos de trabajo se utilizan más frecuentemente en las investigaciones bioquímicas, donde existe necesidad de una buena cantidad de trabajo coordinado de tipo técnico. También es muy útil el trabajo por equipo cuando se requiera desarrollar descubrimientos llevados a cabo por los investigadores individuales.

Otra ventaja muy importante del trabajo por equipo, es que permite aumentar la capacidad de trabajo en un investigador brillante más allá de lo que él podría hacerlo de sólo contar consigo mismo. Este tipo de equipo de investigación, tiene también gran valor al proveer una oportunidad para que los principiantes aprendan a investigar. El científico joven se beneficia mucho más cuando trabaja en colaboración con un investigador de experiencia y no cuando éste sólo le supervisa su trabajo. También de este modo existen para él mayores probabilidades de saborear el éxito, lo cual es un gran estímulo. Más aún, la asociación de la originalidad y la frescura que brinda la juventud, junto con el conocimiento acumulado y la experiencia del científico maduro, puede ser un arreglo mutuamente beneficioso. Dondequiera se encuentre en juego una colaboración estrecha, se debe dar consideración importante a la personalidad de los individuos. La mayoría de los hombres sobresalientes estimulan a los otros, pero algunos de ellos están tan llenos de ideas hijas de

su propia mente y tienen tantos deseos de comprobarlas, que pueden ejercer un efecto entumecedor, asfixiante, sobre cualquier joven colega que desee tratar de comprobar sus propias ideas. Todavía más, es muy posible que un hombre sea un científico brillante y, sin embargo, su conocimiento y práctica de las relaciones humanas esté poco desarrollado.

La objeción que se hace más a menudo en contra del trabajo por equipo, es la de que aquellos descubrimientos que pueden nacer a partir de hechos inesperados, pueden no notarse si el investigador no tiene libertad para divagar fuera de sus investigaciones. Fleming ha hecho notar que si él hubiera estado trabajando en un equipo, no le hubiera sido posible abandonar lo que estaba haciendo para dedicarse a seguir la pista que lo condujo hasta la penicilina.<sup>42</sup>

Al comienzo de una investigación, el mismo investigador necesita hacer, cuando menos, algún plan tentativo general y para cada experimento, planes detallados cuidadosamente, de modo que le sirvan de guía. Es en este punto donde la experiencia del director de investigación puede ser de mayor ayuda para el joven científico. Este último presenta, para ser discutido, un cuadro general de la información que ha reunido, junto con sus ideas para el trabajo que se propone. El científico inexperto, por lo general, no se da cuenta de las limitaciones que impone la práctica de la investigación y, muy a menudo, propone para un año de trabajo un plan que lo ocuparía durante diez. El hombre de experiencia sabe que es una necesidad práctica dedicarse a un proyecto más simple, debido a que él conoce la cantidad de trabajo que entraña aun el más simple proyecto. Cuando se oye sólo acerca de los éxitos de las investigaciones, el novicio, obtiene a menudo, la falsa idea de que la investigación es fácil. Casi siempre, todos los adelantos son

lentos y laboriosos y una sola persona solamente puede tratar de obtener un objetivo limitado cada vez. Es muy conveniente que el principiante discuta con su supervisor cualquier desviación importante del plan de trabajo, pues si bien es cierto que durante las investigaciones pueden salir pistas fructíferas, que deben ser proseguidas, no siempre es posible ni deseable tratar de hallar la respuesta a cada problema nuevo que se presente. Aconsejar en estos aspectos y ayudar cuando se encuentran dificultades, son las principales funciones de un director de investigación, y la medida de la comprensión que él tenga de la naturaleza de la investigación científica, está dada por el éxito que alcancen aquellos que están bajo su dirección. A medida que el joven científico se desarrolla, debe animarse para que se convierta en más independiente. La velocidad a la cual se desarrolle esta independencia, será determinada por las aptitudes que demuestre y los éxitos que obtenga.

Tanto el investigador de un equipo como el investigador individual, encuentran muy útil conservar una lista con las ideas y los experimentos que deseen comprobar —un programa de trabajo que debe ser revisado continuamente.

Algunos consideran que el mejor tipo de trabajo se lleva a cabo en pequeños institutos de investigación, en los cuales el director puede conservar íntimo contacto con todo el trabajo, y que la eficiencia decae cuando se sobrepasa este determinado tamaño. Es indudable que existen ejemplos de pequeños institutos en los cuales la producción por hombre, es superior al del promedio en los grandes institutos. Usualmente, en estos lugares se encuentra un director, quien no sólo es un científico muy capaz, sino quien también estimula el entusiasmo en sus investigadores. La alta productividad en los grandes institutos, tal vez dependa de la existencia de varios núcleos o focos di-

ferentes, cada uno de los cuales esté centralizado alrededor de un buen conductor.

#### DIFERENTES TIPOS DE INVESTIGACION

Comúnmente, la investigación se divide en "aplicada" y "pura".

Esta clasificación es arbitraria y sin base, pero lo que usualmente se quiere significar es que la investigación aplicada, consiste en investigar deliberadamente cualquier problema de importancia práctica, en contradicción a la investigación pura, la cual se hace con el objeto de obtener conocimiento sólo por amor al mismo. Puede decirse que el científico puro acepta como un acto de fe, el que cualquier conocimiento vale la pena de ser perseguido por el simple hecho de ser conocimiento y, si acaso se le presiona mucho, este científico dirá que en la mayoría de las ocasiones el conocimiento obtenido será útil tarde o temprano. La mayoría de los grandes descubrimientos, tales como los de la electricidad, rayos X, radio y energía atómica, tuvieron su punto de partida en la investigación pura, la cual permite que el investigador siga cualquier pista inesperada e interesante, sin importarle el obtener resultados de valor práctico. En la investigación aplicada, es al proyecto a quien se respalda, mientras que en la investigación pura, es al hombre. Sin embargo, muy a menudo la distinción entre investigación pura y aplicada es superficial, y puede depender simplemente de que la materia investigada sea o no de importancia práctica. Por ejemplo, la investigación del ciclo vital de un protozoo en un charco es investigación pura, pero si este protozoo que se estudia es un parásito del hombre o de los animales domésticos, la investigación podría catalogarse de aplicada. Una diferenciación aún más fundamental, la cual guarda una correspondencia distante con los

términos pura y aplicada, es a) Aquella en la cual se da el objetivo y se buscan los medios de obtenerla, y b) Aquella en la cual primero se hace el descubrimiento y entonces se busca en qué utilizarlo.

En algunos círculos existe un cierto snobismo intelectual y una tendencia a mirar desdeñosamente a la investigación aplicada. Esta actitud está basada en las siguientes falsas ideas: aquella de que el conocimiento nuevo se descubre sólo mediante la investigación pura, mientras que la investigación aplicada sólo trata de aplicar conocimientos ya elaborados, y la otra idea, de que la investigación pura es una actividad intelectual de más altura, porque requiere mayor habilidad científica y es más difícil. Ambas ideas son erradas. Frecuentemente nuevos conocimientos de importancia han nacido a partir de investigaciones aplicadas; por ejemplo, la ciencia de la Bacteriología se originó, en gran parte, con las investigaciones de Pasteur, sobre problemas de índole práctica en las industrias de la cerveza, vino y gusanos de seda. Usualmente, es más difícil obtener resultados en la investigación aplicada que en la investigación pura, debido a que el investigador tiene que aferrarse y resolver un problema determinado, en lugar de poder seguir cualquier pista promisoría que se le presente. También, la mayoría de los campos en la investigación aplicada ha sido ya bien trabajada y muchas de las cosas fáciles y obvias han sido ya hechas. No ha de confundirse la investigación aplicada con la práctica rutinaria de alguna rama científica, donde sólo se intente aplicar el conocimiento existente. Ambos tipos de investigación se necesitan, tanto la pura como la aplicada, ya que ellos tienden a complementarse.

Corrientemente, los problemas de índole práctica, requieren para su solución algo más que la simple aplicación del conocimiento existente. Frecuentemente existen brechas en nuestros conocimientos que deben ser llenados.

Más aún, si la investigación aplicada se limita sólo a conseguir la solución del problema inmediato, sin tratar de llegar a una comprensión de los principios básicos, los resultados, con toda probabilidad, serán aplicables sólo a ese problema particular y no tendrán una aplicación general amplia. Esto podría significar que cualesquiera otros problemas similares y relacionados deberán ser investigados de nuevo; mientras que, si la investigación original se hubiera hecho propiamente, hubiera provisto la solución para los restantes. Aun algo aparentemente tan simple como es el desarrollo práctico de un descubrimiento, puede presentar dificultades insospechadas. Cuando el nuevo insecticida gamexano, se adoptó para ser usado en baños de inmersión para ovejas, se llevaron a cabo numerosas pruebas tanto en el laboratorio como en el campo, para tratar de demostrar o de determinar, que el producto no era tóxico y que en todos los aspectos era inocuo. Pero no obstante haber logrado pasar toda esta serie de pruebas, cuando llegó a utilizarse en gran escala en el campo, se notó, que las ovejas de algunos rebaños desarrollaban derrengadera después del baño de insecticida. Las investigaciones demostraron que esta derrengadera no se debía al gamexano, sino a una infección con cierta bacteria. El líquido de inmersión se había contaminado con esa bacteria, la cual la aportaban algunas de las ovejas. Los fluidos utilizados con anterioridad poseían acción germicida contra esa bacteria, pero el gamexano no tenía ninguna. Los problemas del control en Biología son diferentes en las diversas localidades. El parásito de la malaria puede tener como huésped intermediario, especies diferentes de mosquito y la bilharzia puede utilizar diferentes caracoles.

La investigación aplicada va a través de diversas ciencias puras, buscando cualquier nuevo conocimiento que pueda utilizarse en la solución del problema práctico. Sin embargo, el científico que trabaja en este tipo de investi-



gación no se contenta con esperar los descubrimientos del científico puro, por muy valiosos que éstos sean. El científico puro puede dejar amplias brechas en aquellos aspectos de la materia que no le sean atractivos, y así, el científico aplicado, puede tener que iniciar la investigación fundamental para tratar de llenarlas.

La investigación científica puede dividirse también en el tipo exploratorio, la cual abre nuevos horizontes y el tipo de desarrollo, la cual sigue a continuación del anterior. El tipo exploratorio es libre, aventurero; ocasionalmente, produce grandes e inesperados descubrimientos; o puede ser que no produzca nada. El tipo de investigación de desarrollo, más a menudo es llevado a cabo por el científico de características muy metódicas, el cual se contenta con consolidar los adelantos, buscar descubrimientos más modestos en el territorio recién ganado y explotar por completo esa nueva tierra tratando de que sea útil. Este último tipo de investigación se conoce algunas veces con los nombres de investigación *pot boiling* o *safety first* (seguridad antes de todo).

La investigación de "fronteras" es aquella que se lleva a cabo en un campo donde se juntan dos ramas de la ciencia. Este tipo de investigación puede ser muy productivo en las manos de un científico que posea un entrenamiento lo suficientemente amplio, debido a que puede utilizar ambas ramas de las ciencias y unir los conocimientos de cada una de ellas. Cualquier principio, técnica o hecho ordinario de una de las ramas de la ciencia, puede ser fructífera y novel cuando se aplica a la otra rama.

La investigación puede dividirse en diferentes niveles, los cuales se alcanzan sucesivamente a medida que una rama científica o cualquier sujeto avanza más. Primero se presenta el tipo observacional de investigación, llevado a cabo por los naturalistas en el campo, o en el

laboratorio por científicos con atributos mentales similares al anterior. Gradualmente, los materiales y fenómenos brutos se refinan mediante la utilización de procedimientos de laboratorio precisos, pero más restringidos, hasta que por último son llevados hasta los procesos exactos físicos y químicos. Es casi una imposibilidad práctica para cualquiera poseer un conocimiento especializado de más de un campo, limitado a un solo nivel. El tipo naturalista, quien no es menos útil que sus colegas, debe la mayor parte de sus éxitos a sus poderes de observación y a su ingenio natural y a menudo le falta la profundidad de los conocimientos científicos básicos necesarios para desarrollar por completo sus hallazgos. Por otra parte, el especialista en una ciencia básica, puede estar muy alejado tanto mental como físicamente del fenómeno natural y, por lo mismo, jamás podrá igualar al tipo naturalista para comenzar nuevas líneas de trabajo.

#### EL METODO DE TRANSFERENCIA EN LA INVESTIGACION

Todos los adelantos científicos reposan sobre una base de conocimientos previos. Los descubridores son aquellas personas que suplen la piedra clave para elaborar otro arco en el edificio y de esta manera revelar al mundo la estructura completa, la cual ha sido construida en su mayor parte por otros. En esta sección, sin embargo, quiero referirme no al fondo de conocimientos sobre el cual se trata de construir, sino a la adaptación de una pieza de nuevo conocimiento, a un conjunto diferente de circunstancias.

Algunas veces, la idea central sobre la cual gira una investigación, es proporcionada por la aplicación o transferencia de una técnica o principio nuevo, descubierto en otro campo científico. A este modo de efectuar adelan-

tos, lo llamaremos el método de "transferencia" en la investigación. Es probablemente el más fácil y fructífero de los métodos en la investigación y el que se utiliza con mayor frecuencia en la investigación aplicada. Sin embargo, ni por un momento debe ser menospreciado. Los avances científicos son tan difíciles de lograr, que debe utilizarse cualquier estrategia. Algunas de esas contribuciones deberían ser llamadas más apropiadamente, desarrollos y no descubrimientos, ya que muy poco conocimiento nuevo y ningún principio original se deducen de las mismas. Sin embargo, al intentar aplicar la nueva técnica o principio descubierto a un problema diferente, puede resultar el nacimiento de nuevo conocimiento.

La transferencia es uno de los medios principales de desarrollo de la ciencia. La mayoría de los descubrimientos, pueden tener aplicaciones en campos diferentes de aquel en el cual fueron hechos, y cuando se aplican a estos nuevos campos, muy a menudo sirven como instrumentos en la producción de otros descubrimientos. Algunas conquistas científicas de importancia se han producido por transferencia. El desarrollo de la cirugía antiséptica por Lister se debió, en gran parte, a una transferencia del trabajo de Pasteur en el cual demostraba que la descomposición se debía a las bacterias.

Podría pensarse que tan pronto como se conoce un descubrimiento, de inmediato y automáticamente seguirán sus aplicaciones a otros campos, pero raramente esto es cierto. Algunas veces, los científicos no logran darse cuenta de la significación que un descubrimiento en otro campo pueda tener para su trabajo o si lo notan pueden no tener éxito al tratar de descubrir las modificaciones necesarias. Muchos años transcurrieron entre el descubrimiento de la mayoría de los principios de bacteriología e inmunología y sus aplicaciones. Transcurrió algún tiempo antes de que el principio de la hemaglutinación de los virus,

descubierto por Hirst con el virus de la influenza, fuera hecho extensivo a varios otros virus y, aún más tarde, extendido hasta ciertas bacterias.

Una forma importante del método de transferencia es la explotación de una técnica nueva adoptada de otra rama de la ciencia. Algunos investigadores, toman deliberadamente una nueva técnica y buscan problemas en los cuales, las características especiales de esta técnica puedan ofrecer nuevos enfoques. La hemaglutinación y la cromatografía de partición, por ejemplo, han sido utilizadas en esta forma en campos bastante alejados de aquellos para los cuales fueron desarrollados en principio. La posibilidad de obtener nuevos desarrollos mediante la aplicación del método de la transferencia es, tal vez, la razón principal por la cual el hombre de ciencia necesita mantenerse informado de por lo menos los adelantos más importantes que se llevan a efecto en otros campos, además de el de la propia especialización.

También debemos mencionar en esta sección el desarrollo científico de prácticas y costumbres carentes de base científica y que, sin embargo, han llegado a utilizarse. Un gran número de drogas usadas en terapéutica fue introducido en esta forma. La quinina, la cocaína, el curare y la efedrina, fueron utilizados durante mucho tiempo, antes de ser estudiados científicamente y antes de que su acción farmacológica fuera comprendida. Se dice que las propiedades medicinales de la hierba Ma Huang, de la cual se deriva la efedrina, fueron descubiertas en China hace 5.000 años por el Emperador Shen Nung. El descubrimiento de la quinina, la cocaína y el curare, llevado a cabo por los nativos de Sudamérica se pierde en la Antigüedad, pero es obvio que han debido ser descubrimientos puramente empíricos. Incidentalmente, el arbusto a partir del cual se obtiene la quinina fue nombrado en honor de la condesa Cinchona, quien lo utilizó

para curar la malaria en 1638 y más tarde lo introdujo en Europa, llevándolo del Perú. Otros ejemplos de este tipo de investigación, lo proveen procesos tan antiguos como la tenería, la elaboración de quesos y varios tipos de fermentación. Hoy en día, muchos de estos procesos han sido convertidos en procedimientos científicos, y por consiguiente mejorados o al menos hechos más seguros. Tal vez, la vacunación podría catalogarse en este lugar.

### TACTICAS

Cuando se intenta examinar y lograr un mejor entendimiento de un proceso complejo, es a menudo muy útil analizarlo en sus fases componentes y considerar cada una de ellas por separado. Esto es lo que se ha hecho en este libro. He tratado de describir el papel de la hipótesis, razón, experimentación, observación, casualidad e intuición en la investigación e indicar los usos especiales y defectos de cada uno de esos factores. Sin embargo, es indudable que en la práctica, esos factores no operan separadamente. Todos o varios de ellos se requieren usualmente en cualquier investigación, aun cuando muy a menudo la clave fundamental para la solución de un problema lo provee sólo uno de ellos, tal como se ha demostrado en muchas de las anécdotas citadas.

Un esbozo general de cómo puede ser atacado un problema en Biología o Medicina experimental ha sido descrito en los capítulos 1 y 2, y el papel especial de cada uno de los factores concernientes en la investigación, se ha discutido en los capítulos subsecuentes. El orden de los capítulos no tiene ninguna significación especial, como tampoco el espacio que se ha dedicado a cada materia, guarda mucha relación con su importancia relativa. Quedan por discutir sólo algunas consideraciones generales acerca de las tácticas. Al hacer esto, puede ser útil, reca-

pitular y reunir algunos de los puntos que se han indicado ya en otras partes.

En la investigación no pueden seguirse reglas fijas. El investigador debe utilizar su inventiva, originalidad y juicio y aprovecharse de cualquier estrategia útil. F. C. S. Schiller escribió:

"Los métodos que han dado buenos resultados deben tener valor... El éxito ha demostrado que «en este caso» el investigador estaba en lo correcto al seleccionar los hechos que creyó significantes y descuidar el resto como inaplicables, también al relacionarlos tal como hizo mediante las «leyes» que les aplicó, y al teorizar acerca de los mismos con el objeto de percibir analogías, al sopesar las oportunidades, al especular sobre ellas y al correr todos los riesgos que corrió. Pero sólo en ese caso determinado. En el caso próximo, el cual él cree que es «esencialmente lo mismo» que el último y casi tan análogo como humanamente posible, puede hallar que las diferencias (las cuales siempre existen entre casos diversos), son apropiadas, y que tanto sus métodos como sus suposiciones, deben ser modificadas para encarar el nuevo caso con alguna probabilidad de éxito".<sup>80</sup>

La investigación ha sido comparada con una guerra contra lo desconocido. Esta comparación sugiere algunas analogías útiles en lo que concierne a las tácticas. La primera consideración, consiste en obtener una preparación apropiada mediante el ordenamiento de todas las fuentes de datos e informaciones posibles, así como de todo el equipo y material necesario. El atacante tendrá una gran ventaja si puede utilizar una nueva arma técnica. El procedimiento que posee mayores posibilidades de producir un avance, consiste en concentrar todas nuestras fuerzas en un sector restringido, donde se crea que el enemigo es más débil. Estos puntos débiles de la defensa, pueden encontrarse mediante exploraciones preliminares o em-

pleando ataques tentativos; al encontrar oposición fuerte, es mejor intentar una maniobra indirecta en lugar de un ataque frontal. Sólo ocasionalmente y cuando se ha logrado una penetración realmente importante, puede ser conveniente, aun cuando arriesgado, tratar de cubrir con rapidez una gran extensión de terreno, dejando entonces el trabajo de consolidación a los seguidores, siempre y cuando el mismo sea lo suficientemente interesante como para atraerlo. Sin embargo, hablando de una manera general, todos los avances se realizan por etapas; al tomar una nueva posición, la misma debe ser firmemente consolidada antes de intentar utilizarla como base para operaciones posteriores. Este ritmo es la forma normal de progresión, no sólo en la investigación científica, sino en todas las formas del saber: la acumulación de información, conduce de una manera natural hacia una pausa dedicada a sintetizar e interpretar, y esta pausa a su vez es seguida por otra etapa de recolección de datos, los cuales son seleccionados a la luz de las nuevas generalizaciones alcanzadas.

Aun en las investigaciones aplicadas, tales como la investigación de cualquier enfermedad del hombre o de los animales domésticos, el procedimiento utilizado corrientemente consiste en tratar primero de hallar tanta información como sea posible acerca de todos o cualquiera de los aspectos del problema, evitando buscar deliberadamente algún objetivo particular de uso práctico. La experiencia ha demostrado, definitivamente, que la completa comprensión de un determinado problema casi siempre trae como resultado la revelación de hechos útiles. Algunas veces, es posible encontrar un eslabón vulnerable en el ciclo vital de un parásito que causa una enfermedad, y este hallazgo a su vez puede conducir al desarrollo de sencillas medidas de control. Si se conserva esta posibilidad siempre a la vista, es entonces de gran ayuda considerar la biología del agente infectivo, ora sea

un virus o un helminto, y estudiar cómo logra sobrevivir, especialmente cuando pasa de un huésped a otro.

A menudo, los descubrimientos biológicos aparecen por vez primera en la forma de fenómenos cualitativos, y uno de los objetivos iniciales consiste en purificarlos convirtiéndolos en procesos cuantitativos reproducibles. Eventualmente, pueden llegar a ser reducidos hasta su base física o química. Es digno de atención que el objetivo declarado en una gran proporción de las investigaciones descritas en las principales publicaciones científicas, es el de aclarar el mecanismo de algún proceso biológico. Es una creencia fundamental aquella de que todas las funciones biológicas, tarde o temprano pueden explicarse en términos físicos o químicos. Tanto el vitalismo, el cual postulaba una fuerza "vital" misteriosa, como la "teleología", que preconizaba una directriz sobrenatural, han sido abandonados desde hace tiempo por los biólogos experimentales. Sin embargo, la teleología puede ser admisible en un sentido modificado, o sea, aquel de que un órgano o función cumple con un propósito determinado, tendiente a ayudar la sobrevivencia del organismo o de la especie como un todo.

Los adelantos científicos mayormente apreciados, y aclamados, son la percepción de nuevas leyes y principios y los descubrimientos de uso práctico y directo para el hombre. Por lo general, se concede poca importancia a las invenciones de nuevos aparatos y técnicas de laboratorio, a pesar del hecho de que la introducción de cualquiera nueva técnica importante es muy a menudo tan responsable por un avance del conocimiento, como el descubrimiento de una nueva ley o hecho. Los medios sólidos para el cultivo de bacterias, los filtros bacterianos, la hemaglutinación viral y la cromatografía de partición, constituyen ejemplos sobresalientes. Puede ser de gran provecho para los investigadores y para los organizadores de

la investigación, dedicar mayor atención de la acostumbrada hasta ahora, al desarrollo de las nuevas técnicas.

Fue característica de Faraday, Darwin, Bernard y probablemente de todos los grandes investigadores, llevar hasta el fin sus descubrimientos y no abandonarlos hasta no haberlos agotado por completo. La historia de C. Bernard acerca de los experimentos en la digestión de los conejos, contada anteriormente, provee un buen ejemplo de esta política. Cuando Gowland Hopkins encontró que para ciertas pruebas de proteína, el responsable era la presencia de ácido glioxílico como impureza en uno de los reactivos, prosiguió los estudios para tratar de descubrir cuál grupo de la proteína reaccionaba, y esto lo condujo hasta el aislamiento del triptófano. Cualquier hecho nuevo, es potencialmente un instrumento importante, mediante cuya utilización puede descubrirse nuevo conocimiento, y cualquier descubrimiento por pequeño que sea puede conducir a uno mayor. Tal como dijo Tyndall:

"El conocimiento, una vez ganado, proyecta una suave luz, más allá de sus propias fronteras inmediatas. No existe descubrimiento tan limitado que no ilumine algo más allá de sí mismo.<sup>95</sup>

Tan pronto como algo nuevo es descubierto, el científico productivo lo observa desde todos los puntos de vista posibles, y al compararlo con otros conocimientos trata de obtener nuevas vías de investigación. El verdadero y último placer del descubrimiento radica no tanto en el descubrimiento en sí, como en la posibilidad de que él mismo sirva como un escalón para alcanzar nuevos adelantos.

Cualquiera, con una chispa de interés en la investigación abandonará por un tiempo toda actividad que esté desempeñando, para seguir una pista promisoría sin necesidad de que nadie lo obligue; pero en la investiga-

ción la mayor parte de las veces, los progresos son difíciles y a menudo uno se encuentra frente a lo que parece ser un "muro". Es aquí donde se necesitan todos los recursos de la inventiva y el método. Tal vez la primera cosa que debe tratarse de hacer, es abandonar la materia por unos pocos días y más tarde reconsiderar todo el problema con mente descansada. El abandono temporal de una dificultad puede ser beneficiosa en tres formas. Primero, concede tiempo para "la incubación", esto es, para que el subconsciente digiera la información, luego utiliza el mismo tiempo para olvidar el pensar condicionado y, finalmente, al evitar la persistencia testaruda, se evita también el peligro de fijar demasiado fuertemente cursos improductivos de pensamientos. Por supuesto, el principio de abandono temporal es practicado frecuentemente en la vida diaria, como, por ejemplo, al posponer cualquier decisión, hasta después de "haber consultado con la almohada". En alguna otra parte se ha hecho énfasis sobre el valor de la discusión, no tanto para obtener información técnica, como para promover nuevas ideas. Por otra parte, la discusión ayuda a lograr un entendimiento más claro del problema, lo cual es esencial.

Otra cosa que debe intentarse al encontrar una dificultad, es regresar al punto de partida y tratar de hallar un nuevo enfoque, observando el problema de una manera diferente. Puede ser posible recoger más datos experimentales o clínicos. Observaciones clínicas o experimentales recientes pueden ser útiles en la promoción de nuevas ideas.

El investigador, puede haber seleccionado alguna forma estéril o incorrecta de tratar el problema, cuando intenta reducirlo a la investigación experimental. Si de nuevo lo observa en su forma bruta, podría seleccionar para ser investigado algún otro aspecto del mismo. Algunas veces, es posible descomponer la dificultad en

componentes más sencillos, los cuales, entonces, pueden ser atacados por separado. Si la dificultad no puede vencerse, tal vez deba buscarse una manera indirecta, utilizando la alternativa de otro método técnico. Puede ser útil tratar de buscar analogías entre el problema de que se trata y otro que ya haya sido resuelto.

Si después de tentativas persistentes para resolver la dificultad no se logra ningún adelanto, lo mejor es abandonar el problema durante algunas semanas o meses, sin olvidarlo por completo, y comenzar algo diferente. Puede ser que durante este tiempo, en otros campos científicos surja una nueva idea o acontecimiento que permitan encararlo de nuevo. Si nada de esto ocurre, el problema debe ser considerado como insoluble con respecto al estado presente de los conocimientos en los campos científicos relacionados y, por lo tanto, abandonarlo definitivamente. Sin embargo, es grave falta de un investigador abandonar los problemas fácilmente, tan pronto como encuentra cualquier dificultad o se entusiasma con otra perspectiva. Hablando de un modo general, se debe hacer todo el esfuerzo humanamente posible, para completar cualquier investigación que se haya comenzado. Aquel investigador que frecuentemente cambia de problemas para perseguir su última idea brillante, usualmente carece de efectividad.

Tan pronto como un trabajo se acerca a su final, debe ser escrito como para la publicación. Es bastante importante hacer esto antes de que el trabajo haya terminado, porque frecuentemente es posible, mediante esta práctica, descubrir fallas o puntos débiles en el trabajo, los cuales pueden remediarse mientras el material de trabajo aún se tiene a mano. Más aún, y a pesar de que la investigación todavía se encuentre lejos de su fase final, es una buena idea publicar al respecto por lo menos una vez al año, porque de otro modo se corre el riesgo de

que al tratar de transcribir e interpretar las viejas anotaciones sean tan débiles los recuerdos de los experimentos, que la tarea se hace más difícil y mal. También, y por razones discutidas anteriormente, es deseable revisar el problema periódicamente. Sin embargo, es mejor no publicar ningún trabajo que no haya obtenido resultados de significación. Ellos sólo sirven para confundir a las revistas científicas, y producen más daño que bien a la reputación del autor en las mentes de las personas con apropiado discernimiento.

Una vez terminado el trabajo, es buena idea entregar el artículo a un colega para que lo critique —no sólo porque el colega pueda tener mayor experiencia que el autor, sino también porque es más fácil notar fallas de trabajo o de idioma en el trabajo de otros que en el propio.

Debe decirse una palabra de cautela en contra de la publicación de cualquier trabajo que no sea concluyente, y muy especialmente en contra de la posibilidad de efectuar interpretaciones que no estén justificadas por las observaciones o los resultados experimentales. Cualquier cosa que se escriba permanecerá en la literatura y nuestra reputación científica puede ser dañada al publicar algo que más tarde se compruebe que es incorrecto. Hablando de un modo general, es una buena costumbre reproducir exactamente los resultados obtenidos y sugerir prudentemente las interpretaciones estableciendo una clara distinción entre hechos e interpretación. Algunas veces, la reputación de un científico promisorio ha sido destruida por la publicación prematura de un trabajo que más tarde no ha podido ser comprobado. Tanto los superlativos como las exageraciones son anatemas para los científicos; usualmente los grandes hombres de ciencia han sido modestos y cautos. Faraday escribió a un amigo en 1831:

"De nuevo estoy ocupado con el electromagnetismo y creo haber logrado algo bueno, pero no puedo asegurarlo. Tal vez, después de todo mi trabajo, sea sólo un poco de maleza y no un pez, lo que logre sacar".

Lo que al fin sacó fue el dinamo. En 1940, sir Howard Florey escribía a la Fundación Rockefeller solicitando el financiamiento para su trabajo sobre penicilina, la cual, según él creía, podía ser desarrollada en un agente terapéutico más efectivo que las sulfanilamidas. Podría esperarse que en tal carta el trabajo fuera presentado con los tonos más favorables; sin embargo, todo lo que Florey se permitió decir fue:

"No creo ser muy optimista al pensar que éste es un renglón muy prometedor".<sup>6</sup>

¡Qué ejemplo tan clásico de modestia, ha resultado ser esta frase!

Confieso que no había leído a Bacon hasta casi haber terminado de escribir este libro, y sólo entonces me di cuenta de lo claro que él había visto que los descubrimientos son a menudo de origen empírico —el mismo punto de vista que he alcanzado al estudiar los métodos productivos de los tiempos recientes—. Bacon cita a Celsus al decir que:

"Primero encontraron los remedios y las medicinas y luego se discurió acerca de las razones y causas; y no al contrario; o sea, que las causas se encontraran primero y mediante ellas las medicinas fueran descubiertas".<sup>6</sup>

Ningún comentario más apropiado podría ser hecho en referencia a los adelantos de la quimioterapia en este siglo, que esta observación de Celsus acerca de la ciencia médica de hace mil ochocientos años. Cuando se reflexiona que la casualidad y el empirismo fueron los métodos de desarrollo de la evolución orgánica, no sorprende

el hecho de que estos factores aún jueguen un papel tan importante en la investigación biológica.

En investigación, muy a menudo, tenemos que utilizar nuestras técnicas hasta el límite extremo y aún más allá, tal es el caso de Schaudim al descubrir el espiroqueta pálido de la sífilis, que otros apenas lograban ver con los métodos de que se disponía en ese entonces. Lo mismo ocurre con nuestro razonamiento; usualmente el descubrimiento va más allá de donde la razón alcanza.

En Física, la lógica inductiva es tan inadecuada como en Biología. Einstein nos aclara este punto cuando dice:

"No existe método inductivo que pueda guiar los conceptos fundamentales de la Física. La falla al no comprender este hecho constituyó el error filosófico básico de tantos investigadores del siglo XIX... Ahora nos damos cuenta claramente, de cuán errados estaban aquellos teóricos que creían que la teoría provenía de la experiencia de un modo inductivo".

En la educación formal, al estudiante, implícita o explícitamente, se le enseña que la razón es el medio principal, y a veces el único, mediante el cual la ciencia avanza. Este punto de vista ha sido apoyado por el concepto convencional del llamado "método científico" y por algunos dialécticos que poseen muy poco conocimiento de la investigación científica. En este libro he tratado de demostrar cuán errado es este concepto y he hecho énfasis sobre las limitaciones de la razón como instrumento para llevar a cabo descubrimientos. No he discutido la creencia de que es ella la mejor guía en un territorio conocido, aun cuando, también aquí, los riesgos que se corren al utilizarla son probablemente mayores de lo que se cree. Pero en la investigación continuamente tanteamos más allá del terreno conocido y entonces el problema no

es tanto abandonar la razón como hallar que no podemos utilizarla por la falta de información adecuada. Antes que tratar de engañarnos a nosotros mismos, creyéndonos capaces de utilizar la razón efectivamente en la interpretación de fenómenos naturales complejos, cuando sólo poseemos información inadecuada e ideas vagas, me parece mucho mejor reconocer abiertamente que debemos recurrir a menudo al gusto científico y reconocer de una vez la importancia del papel que tanto la intuición como la casualidad desempeñan en el descubrimiento.

En la investigación, del mismo modo que en la vida diaria, muy a menudo debemos decidir nuestro curso de acción de acuerdo con nuestro juicio personal basado en el gusto. Sólo los tecnicismos de la investigación son "científicos" en el sentido de que sólo ellos son puramente objetivos y racionales. Aun cuando a primera vista pueda parecer paradójico, el hecho cierto es que la investigación científica, tal como ha dicho W. H. George, es un arte, no una ciencia.<sup>47</sup>

#### SUMARIO

El investigador que se ocupa en un problema determinado, es el más indicado para diseñar las tácticas. También debe tener ingerencia en la planificación de la estrategia, aun cuando en este punto puede ser ayudado por el director de la investigación o por un comité técnico, el cual incluya científicos familiarizados con el campo particular del trabajo. La función principal de los comités, radica en planificar los cursos de acción. La investigación puede planificarse, el descubrimiento no.

A menudo, cuando se transfieren descubrimientos a otros campos científicos, ellos pueden servir como instrumentos para revelar conocimientos más amplios. He dado algunas sugerencias acerca del mejor modo de enfo-

car las actividades diversas que constituyen la investigación; sin embargo, no se pueden formular reglas explícitas debido a que la investigación es un arte.

La estrategia general de la investigación consiste en trabajar siempre con algún objetivo muy claro en la mente, a pesar de lo cual se debe permanecer alerta y aprovechar cualquier oportunidad inesperada que se presente.



## Capítulo N° 11

# CIENTIFICOS

*No es tanto el talento que poseemos como el uso que de él hacemos, lo que cuenta en el progreso del mundo.*

BRAILSFORD ROBERTSON

### ATRIBUTOS REQUERIDOS PARA LA INVESTIGACION

En muchos aspectos, el investigador se parece al pionero. El explora la frontera del conocimiento y, por lo tanto, requiere muchos de los mismos atributos: iniciativa y espíritu emprendedor, disposición para encarar las dificultades y vencerlas, utilizando su ingenio e iniciativa propios, perseverancia, espíritu aventurero, cierta insatisfacción con lo ya conocido y con las ideas prevalentes y ansiedad de comprobar su propio juicio.

Probablemente los dos atributos esenciales del investigador son su amor a la ciencia y una curiosidad insaciable. Usualmente, la persona atraída por la investigación es aquella que retiene más instinto de curiosidad que lo corriente. Cualquiera, cuya imaginación no pueda ser inflamada por la posibilidad de encontrar algo que ningún otro hombre haya encontrado antes, sólo perderá su tiempo y el de los otros al dedicarse a la investigación, porque sólo aquellos que tienen un entusiasmo e interés genuino por los descubrimientos tendrán éxito. Los científicos de mayor provecho son capaces de sentir el celo de un fanático, pero están disciplinados por el juicio ob-

jetivo de sus resultados y por la necesidad de enfrentar la crítica de los otros científicos. Es muy probable que el amor a la ciencia vaya acompañado por el gusto científico y también esto es necesario para que nos capacite para persistir ante las frustraciones.

Como en casi todos los caminos de la vida, los requisitos para obtener éxito en la investigación, son una buena inteligencia, motivación interna, voluntad para el trabajo duro y tenacidad en los propósitos. También necesita el científico poseer la suficiente imaginación para representarse en su mente ciertos procesos, el modo cómo se llevan a efecto ciertas cosas que no pueden observarse y también para suscitar hipótesis. A veces, el investigador es una persona difícil de tratar, debido a que él no tiene gran confianza en sus opiniones y menos aún en las de los demás. Esta característica puede ser inconveniente en la vida diaria. Al comentar acerca de la importancia de la independencia mental de los científicos, Cajal decía que la humildad podía ser apropiada para los santos pero rara vez para los científicos.<sup>110</sup>

Casi todos los científicos notables se han caracterizado por un espíritu de indomable perseverancia, ya que la mayoría de los hallazgos importantes requirieron persistencia y valor para encarar las repetidas frustraciones. Esta característica era tan marcada en Darwin que, según su hijo, la misma iba más allá de la perseverancia ordinaria y podía describirse mejor como testarudez. Pasteur decía:

"Déjeme decirle el secreto que me ha conducido hasta mi meta. Mi única fuerza radica en mi tenacidad".<sup>112</sup>

Las personas pueden clasificarse aproximadamente en aquellas que habitualmente reaccionan con vigor ante las influencias externas —incluyendo a las ideas— y aquellas que son pasivas y aceptan todo lo que venga. Los prime-

ros discuten todo lo que se les dice, aun de un modo infantil y a menudo se rebelan contra lo convencional; son curiosos y desean aclararlo todo ellos mismos. El otro tipo se ajusta mucho mejor a la vida y en igualdad de condiciones acumula con mayor facilidad las informaciones impartidas por la enseñanza formal. La mente de este último tipo se surte casi por completo con ideas generalmente aceptadas y opiniones fijas; mientras que el tipo reactivo posee menos ideas fijas y, por lo tanto, su mente se mantiene libre y flexible. Es indudable que no todo el mundo puede ser catalogado dentro de cualquiera de estos dos extremos, pero también es claro que aquellos que se aproximan al tipo pasivo, no están hechos para la investigación.

Sería de poca ayuda en el difícil problema de seleccionar aquellas personas promisorias para la investigación, o al analizar uno mismo si tiene condiciones para ello, el preparar una lista con los atributos requeridos por el investigador, ya que al presente no existen medios objetivos capaces de medir las condiciones especificadas. Sin embargo, este es un problema que tal vez los psicólogos sean capaces de resolver en un futuro. Por ejemplo, podría ser posible desarrollar una prueba que tenga por objeto determinar el grado de conocimiento que una persona posee acerca de aquellas cosas con las cuales tiene diario contacto. Esta prueba podría ser una medida tanto de su curiosidad como de su poder de observación y su habilidad "para descubrir" cosas en su medio ambiente, ya que la vida muy bien puede ser un perpetuo proceso de descubrimiento. También podrían desarrollarse pruebas para medir la habilidad de generalizar y formular hipótesis. Posiblemente, la atracción hacia la ciencia podría comprobarse, determinando la respuesta específica de una persona —alegría o indiferencia— al enterarse de los descubrimientos científicos.

Los exámenes ordinarios no son buena indicación de la habilidad de una persona para la investigación, ya que ellos tienden a favorecer al acumulador de conocimientos antes que al pensador. Algunas veces, alumnos que efectúan brillantes exámenes no resultan en la investigación mientras que, por otra parte, algunos científicos famosos, han obtenido bajas calificaciones o pobres resultados en sus exámenes. Paul Ehrlich logró aprobar sus exámenes médicos finales gracias a la bondad de sus examinadores, quienes tuvieron el buen sentido de reconocer su gran talento, y Einstein fracasó en el examen de admisión a la Escuela Politécnica. Probablemente, el estudiante reflexivo y crítico al tratar de acumular conocimientos, se encuentra en desventaja con respecto al estudiante que todo lo acepta sin discutir. Charles Nicolle va aún más lejos cuando dice que, el genio inventivo no es capaz de acumular mucho conocimiento y que la ingeniosidad puede ser destruida por la mala enseñanza, las ideas fijas y la erudición.<sup>63</sup>

He notado que en Inglaterra muchos de los buenos científicos, tanto en las ciencias biológicas como en las no biológicas, son o han sido naturalistas perspicaces durante su juventud. Podría ser una buena indicación de aptitud para la investigación el que un joven practique como una distracción alguna rama de las ciencias naturales. Esta práctica demuestra que el candidato encuentra placer al estudiar los fenómenos naturales y que desea utilizar la observación para descubrir cosas.

En el presente, la única forma de seleccionar talentos prometedores para la investigación —“descubrir a los descubridores” tal como dice Rous—, consiste en ofrecer al candidato una oportunidad para que trate de investigar durante uno o dos años. Hasta que el joven científico no haya demostrado que posee definitivamente habilidad para la investigación, es mucho mejor para él no obtener

posición permanente como investigador. Esta precaución, es tan importante para la futura tranquilidad y felicidad del candidato, como también para el bien de la institución donde investiga. Es de gran ayuda para quienes aún no se han graduado, ofrecerles oportunidad de investigación durante el año final de sus estudios, y de este modo también se pueden obtener algunas indicaciones preliminares de la capacidad de la persona. Una indicación en favor del recién graduado es que éste demuestre deseos de investigar, los cuales pueden manifestarse a través de sus intentos para obtener una posición desde la cual poder trabajar en este campo; en otras palabras, los mejores investigadores, tienden a seleccionarse a sí mismos.

Cualquiera que fuesen los requisitos mentales exactos, generalmente se opina que no todo el mundo sirve para investigar, del mismo modo que no todos sirven para componer música; pero el hecho de que cualquier persona no posea estos requisitos necesarios, no debe considerarse jamás como un menosprecio para la inteligencia de esa persona o para su habilidad en otras ocupaciones.

#### INCENTIVOS Y GALARDONES

Los incentivos principales de la investigación son satisfacer la curiosidad y el espíritu creador, saber si nuestras conjeturas conducen a la creación de nuevos conocimientos y experimentar la sensación de importancia ganada mediante el reconocimiento obtenido. Otros incentivos más mundanos pueden ser la necesidad de tener un medio de vida y la ambición de “sobresalir en el mundo”, “convenciendo” a aquellos individuos que dudaban de nuestra habilidad y al mismo tiempo justificando la confianza de aquellos que nos la demostraron. El reconocimiento de un trabajo efectuado es un incentivo importante, tal como lo demuestra la maladversión a ve-

ces demostrada por causa de la prioridad de una publicación. Aun los grandes científicos, son celosos en lo que respecta al crédito dado a sus descubrimientos. Indudablemente que uno de los principales incentivos en la investigación es el deseo de ver nuestro nombre impreso y nuestros logros reconocidos por todo el mundo científico. En adición a esos incentivos, los cuales son comunes a todo tipo de investigación, existe además en la investigación aplicada, el deseo de llevar a cabo algo por el bien de la humanidad. Este deseo puede ser más efectivo aún, si en lugar de ser sólo un ideal vago, beneficia a aquellos que son conocidos o, de algún modo, están asociados con el investigador.

Tanto al hombre como a la mujer con mente investigadora, los fascina el desafío mental de lo inexplicado, y gozan ejercitando su ingenio en la búsqueda de una solución. Esta es una pequeña manifestación de aquel fenómeno placentero que muchas personas encuentran al resolver problemas aun cuando no exista recompensa material, tal como lo demuestra la popularidad de los crucigramas y de las historias de detectives. Paul Ehrlich, incidentalmente, era un devoto de las historias de detectives. A veces, el interés hacia una rama particular de la ciencia, tiene su origen en la belleza intrínseca del material o técnica utilizada. Los naturalistas y los zoólogos son atraídos muy a menudo hacia el estudio de ciertos grupos de animales porque encuentran placentera su apariencia, y a los bacteriólogos puede gustarle una cierta técnica porque la misma excita su sensibilidad estética. Es muy posible que haya sido la atracción que Ehrlich sentía por los colores brillantes (él decía que experimentaba un placer estético al contemplarlos) lo que le interesó en los colorantes y ello determinó la dirección hacia la cual se desarrolló su trabajo.

Albert Einstein distingue tres tipos de investigadores: aquellos que se dedican a la ciencia porque les ofrece una

oportunidad para ejercitar su talento especial y luego se regocijan con ella como un atleta al llevar a cabo sus hazañas; aquellos que la consideran como un medio de vida quienes, de no haber sido por las circunstancias, hubieran podido ser prósperos y afortunados hombres de negocios; y por último, los verdaderos devotos, quienes, contribuyen enormemente al aumento del conocimiento.<sup>35</sup>

Algunos sicólogos opinan que el mejor trabajo de un hombre se efectúa bajo condiciones adversas, y que la tensión mental y aun la pena física pueden ser estimulantes. Varios hombres prominentes han sufrido o experimentado trastornos psicológicos y dificultades diversas, sin las cuales tal vez no hubieran logrado generar el esfuerzo requerido para superarse.

Muy raras veces el científico obtiene buena retribución monetaria por sus labores; por lo mismo, se le debe garantizar cualquier justa fama que gane con su trabajo. Pero la recompensa mayor de todas es la emoción del descubrimiento. Tal como muchos científicos atestiguan, éste es uno de los mayores goces que la vida puede ofrecer. Ella imparte una tremenda exaltación emocional, además de una gran sensación de bienestar y satisfacción. No sólo los descubrimientos de hecho, sino también el darse cuenta de súbito, de una generalización, puede brindar la misma sensación de regocijo. Tal como el príncipe Kropkin escribió:

"Quien haya experimentado una vez en su vida la alegría de la creación científica, jamás lo olvidará".

Baker cita la historia del gran biólogo Alfred Wallace cuando efectuó un pequeño descubrimiento:

"Nadie que no sea un naturalista, escribe Wallace, puede entender la intensa emoción que experimenté, cuando al fin logré capturarla (una especie nueva de mariposa). Mi corazón latió violentamente, se me fue la sangre

a la cabeza y me sentí más cerca de desmayarme, que si hubiera tenido temor hacia la muerte. El resto del día lo pasé con dolor de cabeza, tan grande fue la excitación que me causó aquello que para la mayor parte de la gente parece una causa inadecuada".<sup>8</sup>

Al referirse a la alegría que sintió después de lograr demostrar la posibilidad de proteger a las personas mediante la vacunación contra la viruela, escribía Edward Jenner:

"La alegría que sentí ante la perspectiva de que yo fuera el instrumento destinado para quitarle al mundo una de sus mayores calamidades... fue tan intensa, que a veces me encontré como en una especie de ensueño".<sup>90</sup>

Louis Pasteur y Claude Bernard comentaban acerca de este fenómeno en los siguientes términos:

"Cuando usted ha llegado al fin a la certeza, su alegría es una de las mayores que puede sentir un alma humana".<sup>97</sup>

"La alegría de descubrir es ciertamente una de las más exaltadas que la mente humana pueda sentir jamás".<sup>91</sup>

El descubridor siente la necesidad de compartir este goce con sus colegas y generalmente se precipita en el laboratorio de un amigo, para contarle lo sucedido e invitarlo a ver los resultados. La mayor parte de las personas obtienen más goce de un nuevo descubrimiento si son capaces de compartirlo con los colegas que estén trabajando sobre el mismo problema o que están lo suficientemente relacionados con el mismo para interesarse en él.

El estímulo provisto por un nuevo descubrimiento, inmediatamente borra todas las frustraciones pasadas y el científico trabaja con renovado vigor. Más aún, sus colegas se estimulan y de este modo el descubrimiento favorece las condiciones para los avances ulteriores. Infortunadamente, no siempre las cosas suceden de esta manera.

Muy a menudo, nuestra alegría es de corta duración y prematura. La consiguiente depresión puede ser profunda y en este punto nuestros colegas pueden ayudar, entendiéndonos y ayudándonos. Aceptarlo con entereza, sin sentirse vencido, es una de las duras lecciones que el joven científico debe aprender.

Desgraciadamente, existen en la investigación más desengaños que éxitos y es más frecuente que el científico se encuentre frente a lo que parece ser una barrera impenetrable que haciendo progresos. Sólo aquellos que han tratado de buscar algo, conocen lo raro y difícil que es encontrar estos pequeños diamantes de la verdad, los cuales una vez pulidos permanecerán adamantinos y brillantes. Lord Kelvin escribió:

"Una palabra caracteriza los más tremendos esfuerzos que yo he hecho perseverantemente por el avance de la ciencia durante cincuenta y cinco años: esta palabra es fracaso".

Michael Faraday dijo que en los casos más afortunados, menos de un 10 por ciento de las esperanzas y conclusiones preliminares resultaban ser verdaderas. Cuando uno se siente deprimido, tal vez pueda ser reconfortante pensar en lo acontecido a esos dos grandes científicos. Es buena idea que el joven científico se dé cuenta de que los frutos de la investigación no se alcanzan fácilmente y, por lo tanto, si él quiere triunfar necesitará valor y perseverancia.

## LA ETICA DE LA INVESTIGACION

Existen ciertas consideraciones éticas las cuales son generalmente reconocidas entre los científicos. Una de las más importantes es que al publicar cualquier investigación, el autor tiene la obligación de conceder el crédito debido a cualquier trabajo previo del cual haya obtenido

información y también a cualquier persona que lo haya ayudado materialmente en el trabajo. Esta regla elemental, no escrita, no siempre se sigue tan escrupulosamente como debiera hacerse, y quienes no lo hacen deberían tener siempre presente que el aumento de reputación obtenida a los ojos de los lectores mal informados es más que anulado por el oprobio de aquellos pocos que conocen del problema y cuya opinión es de verdadero valor. Una falta menor, que muy comúnmente se oye, consiste en citar como propias en una conversación, ideas que pertenecen a otro.

Un pecado mortal científico es robar las ideas o resultados preliminares de alguien que los haya dado a conocer durante una conversación, y utilizarlas en un trabajo, sin primero obtener permiso para hacerlo. Esto se considera corrientemente, más o menos como piratería. He tenido la oportunidad de oír llamar "bandido científico" a alguien acostumbrado a hacer esto. Aquel que cometa esta falta es casi seguro que más nunca se le tendrá confianza. Otra práctica impropia y desgraciadamente no tan rara como sería de esperar, es que un director de investigación usurpe la mayor parte del crédito debido a un trabajo, que sólo ha supervisado, publicando como coautor y colocando su nombre en el primer lugar. Al autor cuyo nombre se coloca primero se considera como al de mayor autoridad, pero mayor autoridad significa que es la persona responsable por la mayor parte del trabajo y no por la gracia del puesto o posición que ocupa. La mayoría de los directores están más interesados en animar a los que comienzan que en obtener reputación para ellos mismos. Yo no quiero o deseo inferir que en aquellos casos donde el investigador de rango superior ha desempeñado un papel importante en el trabajo, deba éste mantenerse al margen u oponerse a la aparición de su nombre, como lo hacen algunas veces personas gene-

rosas y demasiado conscientes; pero en estos casos, es mejor que el nombre del científico joven vaya en primer lugar, porque de este modo él no será mirado sólo como uno de los "y colaboradores". La inclusión del nombre de un científico bien conocido y quien ha ayudado en el trabajo es a menudo muy útil como una garantía de calidad para ese trabajo, cuando el joven autor no ha logrado aún formarse una reputación propia. Es la obligación de cada científico dar generosamente cualquier consejo o idea que pueda y usualmente no debe esperarse agradecimiento formal por este tipo de ayuda.

Algunos colegas y aun yo mismo, hemos hallado a veces que lo que se creía ser una nueva idea, resultaba no ser tan original al consultar anotaciones previas que sobre el mismo tema habíamos escrito. Este tipo incompleto de recuerdos puede traer a veces por resultado, la involuntaria anexión de las ideas de otras personas. Una idea expresada por alguien durante una conversación, puede más tarde venirnos a la mente sin que recordemos su origen y en esta forma pensar que nos pertenece.

Sin duda de ninguna especie, la honestidad completa es un imperativo en el trabajo científico, tal como dice As Cramér:

"A la larga es provechoso para el científico ser honesto, no sólo evitando hacer falsas declaraciones o enunciados, sino, aún más, propiciando el reconocimiento completo de aquellos hechos opuestos a sus puntos de vista. El descuido moral en el mundo científico, es castigado con mucha mayor severidad que en el mundo comercial".<sup>26</sup>

No se gana nada tratando de presentar nuestra evidencia con el aspecto más favorable posible, ya que con casi toda seguridad la verdad será revelada tarde o temprano por otros investigadores. El investigador es quien mejor conoce los posibles errores de su trabajo. El debe informar con toda sinceridad acerca de lo que se ha hecho

y, cuando sea necesario, indicar dónde se han podido cometer errores.

Si un autor encuentra posteriormente que no puede sustanciar algunos de los resultados presentados con anterioridad, debe publicar la corrección necesaria para evitar, de este modo, que otras personas puedan ser desorientadas o se vean obligadas ellas mismas a repetir todo el trabajo sólo para hallar el error.

Algunas personas consideran como de elemental cortesía no precipitarse a utilizar cualquier nuevo campo de trabajo que haya sido descubierto por algún científico, sino dejar el mismo por un tiempo al iniciador, de modo que éste pueda cosechar los primeros frutos. Personalmente, no veo ninguna necesidad para la contención una vez que el primer informe ha sido presentado.

Es casi imposible llevar a cabo un descubrimiento, sin utilizar conocimientos adquiridos previamente por otros. La vasta reserva de conocimientos científicos de los que se dispone hoy en día, no hubiera llegado a formarse si los científicos no reunieran sus contribuciones. La ciencia moderna está basada principalmente en la publicación de observaciones y resultados experimentales, con el objeto de que puedan ser aprovechados por otras personas y al mismo tiempo facilitar la crítica.

El secreto es contrario al espíritu y a los mejores intereses de la ciencia. Previene la contribución individual para el progreso; usualmente, significa que el investigador o quien le emplea, trata de explotar para su propio beneficio algún adelanto efectuado sobre la base de conocimientos libremente aportados por otro. En la industria y en los departamentos de guerra del gobierno, se llevan a cabo muchas investigaciones de tipo secreto; esto parece ser inevitable en el mundo actual; sin embargo, es incorrecto en principio. Idealmente, la libertad de publicación, condicionada sólo por méritos del trabajo, debe

ser el derecho básico de todos los investigadores. Se dice que ocasionalmente algunos resultados pueden suprimirse porque son comprometedores para las autoridades gubernamentales.<sup>64</sup> Esto sería una política peligrosa y mope.

En algunos laboratorios carentes de restricciones, no es infrecuente hallar investigadores que mantienen una gran reserva acerca de sus trabajos, temerosos de que alguien robe sus resultados preliminares y logre obtener y publicar conclusiones antes que el propio autor. Esta forma de reserva temporal es difícil de considerar como falta de ética científica pero, aunque comprensible, no es recomendable, ya que el libre intercambio de ideas y observaciones apresura el avance de la ciencia. Sin embargo, cualquier información confidencial debe ser tratada como tal y no transmitirse a otros. Puede darse el caso de que un científico visitante no aproveche para sí mismo cualquier información inédita que reciba y, sin embargo, sin darse cuenta, transmitirla a individuos inescrupulosos. El visitante puede evitar este riesgo, exigiendo no se le diga nada de lo que se desea conservar confidencial ya que a veces es difícil recordar aquellos que se puede divulgar y lo que no se puede.

Por desgracia aun en el mundo científico, ocasionalmente se hallan celos nacionales. Esto se manifiesta mediante una falta de apreciación o reconocimiento hacia los trabajos efectuados en otros países. No sólo es deplorable, como una indefensible infracción de la ética y del espíritu internacional de la ciencia, sino que esta actitud a menudo rebota sobre el ofensor a veces con detrimento para él mismo y para su propio país. La persona que no logre apreciar los avances científicos efectuados en otras partes bien puede ser dejado en el sitio de desecho que se merece y él mismo se encargará de demostrar que sólo es un científico de segunda categoría. Dentro de la gran mayoría de los científicos existe una hermandad interna-

cional, la cual es una de las razones principales para conservar la fe en el futuro de la humanidad y es, por lo tanto, deprimente ver que este sentimiento pueda ser perjudicado por el mezquino egoísmo de algunos pocos individuos.

#### DIFERENTES TIPOS DE MENTES CIENTIFICAS

No todas las mentes trabajan igual. Se ha intentado a veces dividir los científicos en dos grandes tipos; pero la clasificación es arbitraria y probablemente la gran mayoría está ubicada entre ambos extremos y posee características de ambos.

W. D. Bancroft<sup>10</sup> denomina a uno de estos tipos el "conjetrador" (utilizando la palabra conjetura en el sentido de elaborar juicios o hipótesis perspicaces, adelantándose a los hechos); este tipo sigue principalmente el método deductivo o aristotélico, forman primero la hipótesis y luego tratan de comprobarla mediante la experimentación. Al otro tipo lo denomina "acumulador", debido a que acumula datos hasta que las generalizaciones o hipótesis son obvias; siguen el método inductivo o método de Bacon. Sin embargo, los términos inductivo y deductivo o aristotélico y baconiano, pueden prestarse a confusión y a veces han sido mal utilizados. Henri Poincaré<sup>22</sup> y Jacques Hadamard,<sup>20</sup> clasifican a los matemáticos, bien sea como "intuitivos" o "lógicos", según trabajen basándose en intuiciones o mediante pasos graduales sistemáticos. Esta clasificación parece concordar con la de Bancroft. Utilizaré la terminología "especulativo" y "sistemático", ya que esta parece ser la manera más simple de indicar la diferencia entre ambos tipos.

Charles Nicolle<sup>63</sup> distinguía: a) El genio inventivo, quien no sirve para almacenar conocimientos y quien no es necesariamente inteligente en el sentido usual de la

palabra, y b) El científico dotado de una fina inteligencia, quien clasifica, razona y deduce, pero el cual, según Nicolle, es incapaz de la originalidad creadora o de llevar a cabo descubrimientos originales. El primero utiliza la intuición y sólo emplea la razón y la lógica para confirmar sus hallazgos. El último adelanta los conocimientos de igual modo que un albañil al colocar ladrillo sobre ladrillo hasta terminar toda la estructura. Nicolle dice que las intuiciones fueron tan fuertes en Pasteur y Metchnikoff que a veces ellos casi llegaron a publicar antes de obtener los resultados experimentales. Los experimentos fueron realizados principalmente para contestar a sus críticos.

Bancroft cita los ejemplos siguientes para demostrar los diferentes tipos de científicos. Al tipo sistemático pertenecen Kelvin y sir W. Hamilton, quienes dijeron:

"Los procedimientos minuciosos y precisos parecen al empírico un trabajo menos elevado y digno que la búsqueda de algo nuevo; sin embargo casi todos los grandes descubrimientos se han efectuado de este modo".

"El descubrimiento de un nuevo hecho en las ciencias físicas está al alcance de cualquier tonto dotado de paciencia y habilidad manual".

En contraste con esta última declaración podemos citar una hecha por Davy:

"Doy gracias a Dios que no me hizo un hábil manipulador; mis más importantes descubrimientos me han sido sugeridos por mis fracasos".

La mayor parte de los matemáticos pertenecen al tipo especulativo. Las observaciones siguientes se atribuyen a Newton, Whewell y Gauss, respectivamente:

"Ningún descubrimiento importante se ha llevado a cabo sin una osada conjetura".



"Los adelantos en los conocimientos no se efectúan a menudo sin la osadía y libertad de conjeturar".

"Tengo el resultado, pero aún no sé cómo obtenerlo".

También en Biología, la mayoría de los grandes descubridores han sido del tipo especulativo. Huxley escribió:

"Es un error popular creer que el investigador científico está obligado a no ir más allá de la simple generalización de los hechos observados... Sin embargo, cualquier persona familiarizada con el trabajo científico, se da cuenta que aquellos que se oponen a ir más allá de los hechos, no logran ni siquiera llegar a estos".

Los siguientes comentarios nos revelan el punto de vista de Pasteur:

"Si alguien me dice que al sacar estas conclusiones he ido más allá de los hechos, le contesto: es verdad, he puesto mucho de mí mismo en esas ideas que no pueden probarse rigurosamente. Este es mi modo de ver las cosas".

"Sólo la teoría puede producir y desarrollar el espíritu de la invención".

W. Ostwald, clasifica los científicos de un modo ligeramente diferente.<sup>67</sup> El distingue entre el clásico, quien es básicamente sistemático y cuya característica principal consiste en llevar hasta la perfección cada descubrimiento, y el romántico, quien posee una multitud de ideas, pero las trata de una manera superficial y rara vez las trabaja exhaustivamente. Ostwald dice que el clásico es un mal maestro y no puede hacer nada en frente de otros, mientras que el romántico entrega sus ideas libremente y tiene una enorme influencia sobre el estudiante. Puede producir algunos discípulos sobresalientes, pero a veces perjudica la originalidad de los mismos. Por otra parte, como hace notar Hadamard, las mentes muy intuitivas, pueden ser muy oscuras. Kenneth Mees considera que los descubrimientos científicos prácticos y tecnológi-

cos comprenden tres métodos diferentes de trabajo: a) Síntesis teórica, b) Observación y experimento, y c) Invención. Según él, es muy difícil que una sola persona se distinga en más de una de esas actividades, ya que cada una de ellas requiere un tipo mental diferente.<sup>68</sup>

El tipo sistemático de científico, tal vez está mejor adaptado para desarrollar, mientras que el tipo especulativo lo está para explorar; el primero se ajusta mejor al trabajo por equipo, y el último está mejor dotado para el trabajo individual o para ser conductor de un equipo. El doctor E. L. Taylor describe una gran organización de investigación comercial, la cual utilizaba hombres del tipo especulativo para que jugaran con las ideas que quisieran; pero tan pronto como obtenían algo promisorio, se les quitaba de las manos por completo y se entregaba a los investigadores del tipo sistemático, para su comprobación y desarrollo ulterior.<sup>69</sup>

Sin embargo, los tipos especulativo y sistemático representan los extremos y, probablemente, la mayoría de los científicos combinan características de ambos. El estudiante puede hallar por sí mismo su natural tendencia hacia uno u otro de estos tipos. Bancroft opina que difícilmente un tipo pueda convertirse en el otro. Probablemente, lo mejor es que cada quien siga su tendencia natural y a uno le gustaría saber cuántos científicos no han sido indebidamente influenciados por el maestro con quien comenzaron. Lo realmente importante es no esperar que todo el mundo piense del mismo modo que nosotros. Es una gran desgracia para un joven científico del tipo especulativo natural, caer bajo la influencia de un tipo sistemático y que éste llegue hasta el extremo que por tratar de reprimir su imaginación logre aniquilarla por completo. El hombre que produzca ideas propias y esté deseoso de comprobarlas, es más probable que sea atraído por la investigación, contribuya más a ella, y obten-

ga de la misma más beneficios que aquel a quien le falte curiosidad e imaginación. Este último, tal vez pueda hacer trabajo útil en la investigación pero probablemente no lo disfruta. Ambos tipos son necesarios para el adelanto de la ciencia, porque tienden a complementarse.

Tal como se ha mencionado en otra parte, es un error muy común entre los filósofos y los escritores de libros sobre métodos científicos, considerar que los descubrimientos se llevan a cabo mediante la sistemática acumulación de datos hasta que la generalización sólo sea un asunto de simple lógica; de hecho, esto probablemente sólo sea cierto en la minoría de los casos.

## LA VIDA CIENTIFICA

Algunos breves comentarios acerca de los aspectos personales de la investigación, pueden ser útiles para el joven o la joven que piensa dedicarse a una carrera científica.

El joven científico que lea este libro puede desanimarse al enterarse de todo lo que se le exige y, a menos que sea uno de esos raros individuos dispuestos a entregar su vida a "una causa", puede abandonar la investigación, si no se le ofrece algún comentario adicional. Quiero asegurar desde el principio, que lo dicho en este libro son consejos para la perfección y que uno puede convertirse en un buen investigador sin necesidad de sacrificar los otros atractivos de la vida. Si se desea considerar la investigación como "una llamada", y convertirse en lo que Einstein denomina el verdadero devoto, sería mucho mejor dedicarse por entero; sin embargo, sobran los ejemplos de excelentes científicos, quienes no sólo han vivido una vida familiar normal, sino que aun han hallado tiempo para otros intereses. Hasta hace poco, la investigación sólo la practicaban los devotos, debido a la po-

breza de la retribución económica, pero hoy en día, la investigación es una profesión regular. Sin embargo, este no es un trabajo de horario fijo, sobre la base de nueve de la mañana a cinco de la tarde, y el estudio nocturno es una necesidad práctica. Es necesario tener un verdadero interés en la ciencia, y la misma debe ser parte de nuestra vida y ser considerada como un placer y una distracción.

El trabajo de investigación adelanta de una manera irregular y sólo ocasionalmente prosigue el científico con toda vehemencia un nuevo descubrimiento. Pero entonces, en estas ocasiones, el científico necesita poner todas sus energías en el trabajo y pensar en el mismo día y noche. Si posee verdadero espíritu científico, deseará hacer sólo esto y para él sería una verdadera desgracia si las circunstancias se lo impidieran. Por lo general, la familia del investigador entiende que existen ocasiones para el científico creador cuando es muy importante que se le evite, tanto como sea posible, cualquier otro tipo de preocupaciones y responsabilidades; y de igual modo, sus colegas en el laboratorio tratan usualmente de ayudarlo en cualquier obligación administrativa y rutinaria. Es muy probable que esta ayuda no sea ningún inconveniente para su familia o asociados, ya que estos supremos esfuerzos no son frecuentes en la mayoría de las personas. Tal vez dos a seis veces al año, con duración de una a dos semanas cada vez, es el promedio; pero las mismas varían enormemente de un individuo a otro. Sin embargo, estas observaciones no deben malentenderse como una incitación para desarrollar un "temperamento artístico" y la falta de responsabilidad en las obligaciones diarias.

Cuando Simon Flexner planificaba el Instituto Rockefeller, alguien le preguntó: "¿Va usted a permitir que en este instituto sus investigadores hagan el papel de tontos?". Lo que quería implicar el que preguntaba, era que

sólo aquellos que se arriesgan a parecer tontos tienen posibilidades de efectuar los descubrimientos importantes. El investigador no debe desechas sus ideas por miedo al ridículo. A veces se necesita valor para adelantar y persistir en una nueva idea. Se recordará que Jenner, en el caso de la vacunación confió sus intenciones sólo a un amigo íntimo y bajo la promesa de conservar el secreto, por miedo al ridículo.

Al preguntarle a sir Alexander Fleming su opinión acerca de la investigación, él me contestó que al descubrir la penicilina no estaba trabajando en investigación, sino sólo jugando. Esta actitud es típica de muchos bacteriólogos, quienes al referirse a sus investigaciones, dicen estar "jugando" con este u otro microorganismos. Sir Alexander creía que la gente que juega, es quien lleva a cabo los descubrimientos iniciales, y el científico sistemático quien los desarrolla. Esta expresión "jugando", es de gran significación, ya que la misma implica que el científico está haciendo algo para su propio goce, para satisfacer su curiosidad. Sin embargo, si quien está "jugando" es una persona incompetente, entonces es casi seguro que de este juego no saldrá nada de valor. Sir Henry Dale, al hablar en 1948 en el Congreso reunido en Cambridge en honor de sir Joseph Barcroft, dijo que este gran fisiólogo consideró siempre a la investigación como una aventura divertida. Al hablar en el mismo Congreso, el profesor F. J. W. Roughton dijo que tanto para Starling como para Barcroft la fisiología era el mejor deporte del mundo.

Los grandes pioneros de la ciencia, aunque han defendido fervientemente sus ideas y hasta han peleado por ellas, fueron, en su mayor parte, hombres modestos porque se daban cuenta de lo pequeño de sus descubrimientos al compararlos con la inmensidad de lo desconocido. Cerca del final de su vida, Pasteur decía: "No he

aprovechado mi vida" al pensar en las cosas que hubiera podido hacer. Un poco antes de su muerte Newton dijo:

"No sé que puedo parecerle al mundo, pero a mí mismo me parece haber sido sólo como un muchacho que jugaba en una playa y que me divertía de vez en cuando al encontrar una piedrecilla más suave o una concha más bonita que lo común, mientras el gran océano de la verdad permanecía inexplorado ante mí".

Tanto las distracciones como los días de vacaciones son necesidades individuales; sin embargo, el trabajo continuado durante un período muy largo, puede influir dañinamente en la originalidad. Con respecto a este punto, Jowett ha acuñado una buena máxima: "Ni ocio, ni fatiga". La mayoría de nosotros necesita diversiones e intereses varios para evitar el embotamiento, la pesadez y la constipación mental. La actitud de Simon Flexner con respecto a los días de descanso era similar a la de Pierpont Morgan, quien decía que él podía hacer el trabajo completo de un año trabajando diez meses, pero no doce. La mayoría de los científicos, sin embargo, no requieren tanto como tres meses de vacaciones al año.

Ya hemos mencionado lo frecuente que son las frustraciones en la investigación y cuán necesario es la comprensión y el estímulo de los amigos y colegas. Se ha reconocido que las continuas frustraciones, producen a veces una forma de neurosis a la cual el profesor H. A. Harris ha denominado "neurosis de laboratorio"; estas frustraciones pueden llegar hasta acabar con el interés que una persona tenga hacia la investigación. Tanto el interés como el entusiasmo, deben conservarse siempre vivos y esto puede ser difícil, si el investigador se ve obligado a trabajar en algo que no conduce a nada. En la mayoría de los oficios es posible llegar a una posición sin salida y aun a estancarse, pero en la investigación este problema

es mucho más serio, debido prácticamente a que todas las actividades del investigador deben iniciarse en su propio cerebro; su trabajo lo estimula sólo cuando progresa, mientras que tanto el hombre de negocio como el abogado o el médico, por ejemplo, reciben un constante estímulo, tanto de sus clientes como del hecho de sentir que están haciendo algo.

La frecuente discusión de nuestro trabajo con aquellos de nuestros asociados que demuestran interés en el mismo, puede ser útil para evitar esta "neurosis" de laboratorio. Es bien conocido el gran valor de la "catarsis mental" en la neurosis y, del mismo modo, el contar nuestros problemas, y el compartir nuestras frustraciones con otros, puede ser una gran ayuda para evitar las preocupaciones exageradas.

Aquellos científicos que dedican todo su tiempo a un solo problema de investigación, están más propensos a desarrollar este tipo de neurosis. Algunos individuos encuentran suficiente descanso si confrontan dos problemas al mismo tiempo. Para otros, es mejor utilizar parte de su tiempo bien sea en la enseñanza, trabajos rutinarios de diagnóstico, administración u ocupaciones similares, lo cual los hace sentirse como que contribuyen con algo efectivo hacia la comunidad, aun cuando su trabajo de investigación se encuentre estancado. Cada caso debe considerarse individualmente pero, de cualquier modo, si se quiere obtener investigación efectiva, el científico debe dedicarle a ella la mayor parte de su tiempo.

Con referencia a este último punto, W. B. Cannon es muy elocuente:

"El elemento tiempo es esencial. Puede obligarse al investigador a vivir en una buhardilla, comer mal y usar ropas viejas, puede privársele del reconocimiento social, pero si tiene tiempo él podrá dedicarse resueltamente a

la investigación. Quítele su tiempo libre y será destruido irremediablemente como un contribuidor al conocimiento".<sup>22</sup>

No vale la pena comprimir la investigación en una o dos horas diarias del tiempo dejado por otras ocupaciones, especialmente si estas otras obligaciones requirieren abundante esfuerzo de la mente, ya que la investigación requiere tranquilidad mental para la reflexión; aún más, a veces, para obtener resultados es necesario hacer un esfuerzo de superación ante los inconvenientes y en estos casos puede ser una desventaja tener una fácil actividad alterna que nos pueda servir de salida de "escape". F. M. Burnet, considera que la investigación a "tiempo parcial" es de "carácter insignificante".

Platt y Baker, sugieren que el investigador bien pudiera tener que escoger entre ser mediocre, pero con reputación de buen carácter y fácilmente accesible a los visitantes, o temperamental pero productivo. Debe evitarse la visita a los laboratorios de aquellas personas que simplemente son turistas científicos; pero la mayoría de los investigadores gustosamente encontrarán el tiempo necesario para recibir y hablar con aquellas personas que tienen interés serio y genuino en sus trabajos.

Poco antes de su muerte Pavlov escribió:

"¿Qué puedo desear a la juventud de mi país que se dedica a la ciencia? Primeramente, trabajo gradual. Jamás puedo hablar sin emocionarme acerca de esta importante condición del trabajo científico productivo. Gradualmente, gradualmente, gradualmente... nunca comenzar lo subsecuente, sin dominar lo precedente. Pero que no se conviertan en archivadores de los hechos. Traten de penetrar dentro de los secretos de sus causas, buscando persistentemente las leyes que las gobiernan. Luego, modestia... No permitan que la arrogancia se apodere de ustedes. Por su culpa seréis obstinados cuando se necesite lle-

gar a un entendimiento, os opondréis a cualquier ayuda útil y amigable y perderéis la objetividad. Por último, pasión. Recuerden que la ciencia demanda toda la vida de un hombre. Aun si tuvieseis dos vidas no serían suficientes. Sed apasionados en vuestro trabajo e investigaciones".<sup>68</sup>

El entusiasmo es una de las grandes fuerzas motivadoras, pero como acontece con todo lo asociado con la emoción, también puede ser veleidoso. Algunas personas son propensas a cortas explosiones de intenso entusiasmo, mientras otras, a costa de la intensidad, pueden mantener el interés por largos períodos. Lo mejor, tanto en este como en otros aspectos, es aprender lo más que sea posible acerca de nosotros mismos. Personalmente, cuando me siento llevado por el entusiasmo, la experiencia me ha enseñado a contemplar la situación objetivamente y decidir si existe o no una base sólida para el mismo, o si es más probable que este entusiasmo pase dejándonos una sensación de decaimiento, de la cual es tan difícil sobreponerse para lograr nuevo interés en el problema. Una gran ayuda para mantener el interés consiste en compartirlo con los colegas. También es esta una buena ayuda para sosegarlos y controlar cualquier entusiasmo mal fundado. La gente joven, especialmente, es propensa a excitarse con sus ideas y tratar de comprobarlas sin primero someterlas a un rígido escrutinio crítico. El entusiasmo es un gran estimulante, pero como todos los estimulantes, su uso debe ser controlado mediante el conocimiento de sus efectos.

Si el científico joven logra establecer una línea fructífera de trabajo en los dos primeros años después de graduado, es buena idea que la prosiga con exclusión de todos los demás intereses, pero, por lo general, es mucho mejor para él que adquiera una buena experiencia antes de dedicar todo su tiempo a un solo campo. Lo

mismo acontece con su sitio de trabajo: si tiene la suerte de encontrarse satisfecho o a gusto con sus colegas y con las diversas circunstancias de su trabajo todo está bien; pero a menudo, y especialmente si el científico se encuentra ante un callejón sin salida, es una buena idea un cambio, ya que de este modo se obtendrá gran estímulo con los nuevos contactos mentales y campos científicos diferentes. Este hecho ha llamado mi atención, lo mismo que la de otras personas que lo han experimentado. Tal vez, cada tres o cinco años el científico menor de cuarenta años, debería examinar su posición a este respecto. También, un cambio de tema suele ser beneficioso, ya que el trabajo prolongado sobre un mismo problema puede conducir a la esterilidad intelectual.

Usualmente es difícil o indeseable un cambio de puesto para los científicos más antiguos; en estos casos, el año sabático provee la oportunidad para un cambio de clima mental, y otro medio consistiría en un intercambio temporal entre institutos diversos.

Es difícil que una persona tenga suficiente estímulo e interés interno como para mantenerse durante un tiempo prolongado prosiguiendo cualquier investigación, si se encuentra aislado de otras personas con intereses similares. La gran mayoría de los científicos se estancan cuando están solos pero la agrupación posee un efecto estimulante sobre todos y cada uno, del mismo modo que para comenzar un cultivo bacteriano se necesitan varios individuos o varios pedacitos de madera para comenzar un fuego. Es ésta la principal ventaja de trabajar en un centro de investigación. El hecho de que en uno de estos centros se logre obtener consejo y cooperación de los colegas, lo mismo que útiles y aparatos en préstamo, es de importancia secundaria. Los científicos de las partes más alejadas del mundo, se benefician enormemente cuando van a trabajar por un tiempo a cualquiera de los grandes centros

de investigación o cuando visitan varios de estos institutos. Similarmente, el principal valor de los congresos científicos es el de ofrecer oportunidad a los diversos investigadores para que se reúnan informalmente y discutan tópicos de interés mutuo. Se obtiene un gran estímulo al conocer personas interesadas en las mismas cosas que nos interesan y éstas nos llaman aún más la atención cuando vemos que también otras personas se preocupan por ellas. Por cierto, pocos de nosotros somos lo suficientemente independientes y poseemos la suficiente fuerza de espíritu, como para mantener el entusiasmo en algo que no interesa a los demás.

A pesar de todo esto, existen raros individuos poseedores de suficiente empuje y entusiasmo interior, que no sólo no se estancan cuando se encuentran solos, sino que, aún más, tal vez se benefician con esta independencia forzosa y con los intereses más amplios que el investigador aislado se ve obligado a sobrellevar. La mayoría de los grandes pioneros tuvieron que trabajar sus ideas independientemente, y algunos —Mendel en su monasterio y Darwin en el *Beagle* durante su viaje— trabajaron en aislamiento científico. Un ejemplo del presente es H. W. Bennetts, quien en Australia oriental se ha encontrado en relativo aislamiento científico. El ha logrado descubrir la causa de la enterotoxemia de las ovejas, la deficiencia de cobre como causa de enfermedad en el ganado vacuno y ovino y otras importantes contribuciones.

Lehman ha reunido algunos interesantes datos acerca del período más creador en la vida del hombre.<sup>59</sup> El extrajo su información de fuentes, tales como *A Series of Primers of the History of Medicine* y *An Introduction to the History of Medicine*, y encontró que la máxima producción para aquellas personas nacidas entre 1750 y 1850 estuvo comprendida en la década de vida de los 30 a los 39 años. Si consideramos la producción de esta

fracción como el 100 por ciento, se obtienen los siguientes porcentajes de productividad, 30 a 40 por ciento para aquellos comprendidos entre los 20 y 29 años de edad, para aquellos entre los 40 y 49 años de edad el 75 por ciento, y 30 por ciento para las personas cuyas edades oscilaban entre los 50 y 59 años. Es probable que, tanto la inventiva como la originalidad del hombre, comiencen a decrecer a una temprana edad, aun antes de los 30 años; sin embargo, esto es compensado por un aumento de la experiencia, conocimiento y juicio.

Cannon, nos dice que Long y Morton comenzaron a utilizar el éter como anestésico cuando ambos tenían 27 años de edad; Banting tenía 31 cuando descubrió la insulina; Semmelweis reconoció la etiología infecciosa de la fiebre puerperal a los 29; a los 30 ya Claude Bernard había comenzado sus investigaciones sobre la función glucogénica del hígado; Van Graefe inventó la operación para el paladar hendido, y fundó la cirugía plástica moderna cuando tenía 29 años. Von Helmholtz sólo tenía 22 años y acababa de graduarse cuando publicó un artículo sugiriendo que la putrefacción y la fermentación eran fenómenos vitales, facilitando de este modo el camino a Pasteur.<sup>58</sup> Robinson considera a los 28 años como una edad crítica, ya que muchos grandes científicos han publicado sus más importantes trabajos a esa edad. Por otra parte, algunos individuos, continúan con investigaciones de óptima calidad hasta después de los 70 años. Ejemplos de los cuales son Pavlov, sir Frederic Gowland Hopkins y sir Joseph Barcroft.

El hecho de que una persona no haya efectuado algún aporte importante para el tiempo de sus cuarenta años, no quiere decir que jamás lo hará, ya que tales casos se han dado, aun cuando no muy frecuentemente. A medida que la edad avanza la mente pierde receptividad hacia las ideas, no sólo hacia aquellas de las demás per-

sonas, sino también hacia las propias ideas que puedan nacer de nuestro trabajo o del pensar inherente al mismo.

William Harvey afirmó que ningún hombre mayor de cuarenta años aceptó la idea de la circulación cuando él la presentó. Algunas veces, la razón de que muchos individuos pierdan productividad a esta edad, consiste, simplemente, en que se dedican a labores administrativas, las cuales no conceden tiempo para la investigación. En otros casos, el impulso se pierde por la indolencia que desarrolla la edad madura y la seguridad económica. El contacto con las mentes jóvenes ayuda a conservar la lozanía de la perspectiva. Cualquiera que fuesen las razones para este decaimiento que acompaña a la edad madura, su ocurrencia demuestra que la acumulación de experiencia y conocimiento no son los principales factores en la investigación productiva.

W. Ostwald, considera que esta frecuente disminución de la productividad se debe a una familiarización demasiado prolongada con un mismo sujeto. Ya en el primer capítulo de este libro, se discutió el modo cómo el conocimiento acumulado puede obstaculizar la originalidad. Para aquellos científicos ya pasados de la edad madura, y que han perdido la originalidad, Ostwald aconseja un cambio radical del campo de trabajo. En su propio caso, él tuvo éxito al utilizar este medio cuando tenía más de cincuenta años de edad.

El investigador tiene la suerte de que en su trabajo encuentra algo que le da satisfacción y significado a su vida. Para aquellos que buscan la tranquilidad mental sumergiendo su personalidad en algo más grande que ellos mismos, la ciencia puede poseer un atractivo especial, y aun aquellos con mente más materialista obtienen satisfacción al saber que sus logros en la investigación pueden alcanzar la inmortalidad. Pocas vocaciones tienen la im-

portancia de la investigación científica en el bienestar de la humanidad, especialmente en las ciencias biológicas y médicas. Brailsford Robertson dijo: "El investigador es el guía y pionero de nuevas civilizaciones".<sup>74</sup> La experiencia del hombre abarca menos de un millón de años y la civilización cerca de diez mil. No debería existir ninguna razón para que el mundo no fuera habitable por otros millones de años en el futuro. Da vértigo sólo el pensar lo que puede alcanzarse en el futuro. Apenas hemos comenzado a dominar las fuerzas de la naturaleza.

Pero mucho más importante que tratar de controlar el clima mundial, extraer el calor acumulado bajo la corteza terrestre o atravesar el espacio para llegar a otros mundos, es la necesidad de desarrollar al hombre socialmente de modo que pueda estar a la par con los descubrimientos de las ciencias físicas. ¿Y quién puede ni siquiera conjeturar acerca de ese futuro, cuando la humanidad encuentre la voluntad y valor colectivos necesarios para asumir la tremenda pero inescapable responsabilidad de dirigir deliberadamente la evolución de la especie humana y cuando, por último, el más grande de los instrumentos de investigación, la mente humana, llegue a ser el sujeto del desarrollo científico?

## SUMARIO

La curiosidad y el amor a la ciencia son los requerimientos más importantes de la investigación. Tal vez el incentivo principal sea el deseo de ganar la estimación de nuestros allegados y la recompensa principal la emoción del descubrimiento por sí misma, lo cual ha sido ampliamente reconocido como uno de los mayores placeres que puede ofrecer la vida.

De un modo general, los científicos pueden dividirse en dos grandes tipos, de acuerdo con sus modos de pen-

sar. En un extremo se halla el tipo especulativo, cuya metodología consiste en tratar de encontrar una solución utilizando primero su intuición e imaginación, y luego, tratando de comprobar su hipótesis mediante el experimento o la observación. En el otro extremo se encuentra el investigador sistemático, quien progresa lentamente mediante el uso de etapas cuidadosamente razonadas y quien trata de reunir todos los datos posibles para llegar a alcanzar una solución.

Comúnmente, la investigación progresa de una manera discontinua. Es durante los períodos de "óptimo rendimiento" cuando es esencial para el científico dedicar por completo su energía y tiempo a su trabajo. Las continuas frustraciones pueden producir una forma moderada de neurosis. Las precauciones que se deben adoptar contra ella incluyen el trabajo en diferentes problemas al mismo tiempo, o disfrutar de alguna otra ocupación que ocupe parte del tiempo del investigador. Un cambio de ambiente mental, lo mismo que un cambio del tema de trabajo, provee usualmente un gran estímulo mental.

Existe una gran satisfacción al dedicarse a la ciencia, ya que sus ideales pueden dar un propósito a la vida.

## A P E N D I C E

### OTROS EJEMPLOS DE DESCUBRIMIENTOS EN LOS CUALES INTERVINO LA CASUALIDAD

Nº 1. No fue un físico sino un fisiólogo, Luigi Galvani, quien descubrió la corriente eléctrica. El había disecado una rana y la dejó sobre una mesa cerca de una máquina eléctrica. Cuando Galvani se apartó por un momento, alguien tocó los nervios de la pata con un escalpelo y observó que ello provocaba la contracción de los músculos de la pata. Una tercera persona observó que lo mismo sucedía al producirse una chispa en la máquina eléctrica. Este extraño fenómeno atrajo la atención de Galvani quien lo investigó y prosiguió hasta descubrir la corriente eléctrica.<sup>112</sup>

Nº 2. En 1822, al final de una de sus clases, el físico danés Oersted, colocó por casualidad encima y paralelo de una aguja magnética, un alambre el cual estaba conectado por ambos extremos a una pila voltaica. Al principio mantuvo el alambre perpendicular a la aguja, sin que pasara nada, pero cuando por casualidad colocó el alambre horizontal y paralelo a la aguja, ésta cambiaba de posición. Inmediatamente Oersted invirtió la corriente y encontró que la aguja se desviaba hacia la dirección opuesta. De este modo, y por simple coincidencia, se descubrió la relación entre la electricidad y el magnetismo, la cual abrió el camino para la invención del dinamo por Faraday. Al referirse a este hallazgo fue cuando Pasteur



acuñó su famosa frase: "En el campo de la observación la casualidad sólo favorece a las mentes preparadas". La civilización moderna, tal vez, debe más al descubrimiento de la inducción electromagnética que a cualquier otro descubrimiento.<sup>69</sup>

Nº 3. Cuando von Roentgen descubrió los rayos X, se hallaba experimentando con descargas eléctricas en alto vacío y utilizaba cianuro de platino y bario, con el objeto de visualizar los rayos invisibles, pero no había pensado acerca de la posibilidad de que tales rayos fueran capaces de penetrar los materiales opacos. Notó por accidente que el cianuro de platino y bario que se encontraba en una mesa de trabajo cerca del tubo de vacío se convertía en fluorescente, aun cuando un papel negro lo separaba del tubo. Más tarde, él decía: "Encontré por accidente que los rayos penetraban el papel negro".<sup>8</sup>

Nº 4. Cuando W. H. Perkin tenía sólo dieciocho años de edad, trató de producir quinina oxidando el alil orto-toluidina por el dicromato de potasio. Francasó; sin embargo, pensó que sería interesante ver lo que pasaba cuando una base más simple se trataba con el mismo oxidante. Para esto escogió el sulfato de anilina y logró producir de esta manera el primer colorante de la anilina. Pero la casualidad jugó un papel mucho más importante de lo que indican los simples hechos anotados: de no haber sido que su anilina contenía para-toluidina como impureza, la reacción jamás habría ocurrido.<sup>8</sup>

Nº 5. Durante la primera mitad del siglo XIX se creía firmemente que los animales eran incapaces de sintetizar carbohidratos, grasas o proteínas, todos los cuales debían ser obtenidos en sus dietas preformadas en las plantas. Se creía que todos estos compuestos orgánicos eran sintetizados en las plantas y que los animales sólo eran capaces de romperlos. Claude Bernard se dedicó a investigar el metabolismo del azúcar, tratando de encon-

trar especialmente en qué parte éste era roto. Alimentó un perro con una dieta muy rica en azúcar y entonces examinó la sangre que salía del hígado, tratando de ver si el azúcar había sido descompuesta en este órgano. Encontró un alto contenido de azúcar y entonces, muy inteligentemente, llevó a cabo un experimento similar, pero con un perro alimentado con una dieta sin azúcar. Sorpresivamente, también encontró un alto contenido de azúcar en la sangre hepática del animal de control. Inmediatamente se dio cuenta que, aun en contra de todas las ideas prevalentes, el hígado, probablemente producía azúcar a partir de algo que no lo era. Desde este momento, llevó a cabo una serie de experimentos exhaustivos, los cuales establecieron firmemente la actividad glicogénica del hígado. Este descubrimiento se debió, en principio, al hecho de que Bernard era extremadamente minucioso al controlar cada etapa de sus descubrimientos y, luego, a su habilidad para reconocer la importancia de un resultado que no estaba de acuerdo con las ideas en boga y persistir en la pista obtenida de este modo.<sup>44</sup>

Nº 6. Con el objeto de asustar a los rateros, se acostumbraba en el Medoc cubrir los postes que sostienen los viñedos con una mezcla de cal y sulfato de cobre. Millardest notó que aquellas hojas de las plantas que eran cubiertas accidentalmente con esta mezcla, no eran atacadas por los hongos. El llevó más lejos esta pista hasta lograr descubrir el valor del caldo bordelés para proteger los árboles frutales y los viñedos de muchas enfermedades causadas por los hongos.<sup>87</sup>

Nº 7. La propiedad de la formalina para privar de toxicidad a las toxinas sin afectar su poder antigénico, fue descubierto por casualidad por Ramón, cuando añadía antiséptico a los cultivos bacterianos con el objeto de preservarlos.<sup>65</sup>

Nº 8. Las circunstancias que condujeron al descubrimiento de la penicilina, son ampliamente conocidas. Fleming, se hallaba trabajando con algunas placas de cultivo de estafilococo, las cuales había abierto varias veces y, como acontece en estas ocasiones, se habían contaminado. El notó que las colonias de estafilococo que se encontraban alrededor de una colonia particular, morían. La mayoría de los bacteriólogos no habrían prestado mucha atención a este hecho, ya que sabían desde hace tiempo que algunas bacterias interferían con el crecimiento de otras; sin embargo, Fleming vio la posible significación de esta observación y la prosiguió hasta descubrir la penicilina, aun cuando su desarrollo ulterior como un agente terapéutico, fue debido al trabajo subsecuente de sir Howard Florey. El elemento casualidad en este descubrimiento es más notable al darnos cuenta que ese hongo, en particular, no es muy común y, más aún, que la búsqueda exhaustiva de otros antibióticos no ha logrado producir hasta la fecha nada tan efectivo como la penicilina. Es muy interesante notar que este descubrimiento, probablemente, no se habría efectuado, de no ser por el hecho de que Fleming trabajaba bajo condiciones "desfavorables" en un viejo edificio, donde había mucho polvo y, por lo tanto, facilidades para las contaminaciones.<sup>42</sup>

Nº 9. J. Ungar<sup>96</sup> encontró que la adición de ácido para-amino-benzoico (PABA) al medio de cultivo, aumentaba ligeramente la acción de la penicilina sobre ciertas bacterias. El no explicó por qué había intentado esto, pero parece ser que se debió al hecho de que era conocido que el ácido para-amino-benzoico era un factor esencial de crecimiento para las bacterias. Más tarde, Greiff, Pinkerton y Moragues,<sup>49</sup> probaron la misma sustancia para ver si ella podía aumentar el poco efecto inhibitorio que la penicilina tenía contra la rickettsia del tifus. Hallaron que el PABA por sí solo poseía una notable acción quimio-

terapéutica en contra de este microorganismo. "El resultado fue completamente inesperado", comentaron. Como resultado de este trabajo, el ácido para-amino-benzoico fue reconocido como un valioso agente quimioterapéutico para este grupo de fiebres, contra las cuales no se había encontrado nada efectivo hasta entonces.

En el capítulo que trata sobre la hipótesis, ya he descrito cómo el salvarsán y la sulfanilamida fueron descubiertos prosiguiendo una hipótesis que no era correcta. Otro par de drogas quimioterapéuticas igualmente famosas llegaron a descubrirse, sólo por el caso de hallarse como impurezas en otras sustancias que se estaban comprobando. La historia de estos dos últimos descubrimientos me ha sido contada por algunos científicos que estuvieron íntimamente relacionados con el trabajo, pero se me ha pedido que no la publique, ya que puede ser que otros miembros del equipo no deseen hacer pública la manera cómo se llevó a cabo el descubrimiento. Sir Lionel Whitby me ha relatado una historia de una naturaleza ligeramente diferente. El llevaba a cabo un experimento con la sulfapiridina, en el cual a ratones inoculados con neumococos les era administrada la droga durante el día pero no por la noche. Sir Lionel había ido a una comida y antes de regresar a su casa, pasó por el Laboratorio con el objeto de observar a los ratones, y mientras se encontraba allí, les administró una dosis extra de la droga. Estos ratones resistieron al neumococo mucho mejor que todos los ratones anteriores. No fue sino hasta una semana más tarde cuando sir Lionel se dio cuenta que esa dosis extra de la medianoche había sido la responsable de los excelentes resultados obtenidos. A partir de ese momento, el tratamiento con las sulfas, tanto para ratones como para hombres, fue administrado de día y de noche, con muchos mejores resultados que los del método anterior.

Nº 10. Durante mis investigaciones sobre la morriña de las ovejas, traté varias veces de preparar un medio en el cual creciera el agente infeccioso. La razón me indicaba utilizar el suero de oveja en el medio y los resultados eran siempre negativos. Finalmente logré obtener un resultado positivo, y al repasar mis notas, vi que en el medio empleado se había utilizado suero de caballo en lugar del de oveja, debido a que este último se había agotado temporalmente. Con este indicio, fue fácil aislar y demostrar el agente causal de enfermedad, un microorganismo que crece en la presencia de suero de caballo, ¡pero no de oveja! La casualidad condujo hacia un descubrimiento cuando la razón indicaba una dirección opuesta.

Nº 11. El descubrimiento de que el virus de la influenza humana es capaz de infectar al hurón, fue un punto importante en el estudio de las enfermedades respiratorias humanas. Cuando se planificó una investigación sobre influenza, los hurones fueron incluidos dentro de una larga lista de animales a los cuales se trataría de infectar tarde o temprano. Sin embargo, algún tiempo antes de lo que se planeaba, se informó que una colonia de hurones sufría de una enfermedad que parecía ser la misma influenza que entonces afectaba a sus cuidadores. Debido a esta evidencia circunstancial, se experimentó de inmediato con ellos y se halló que eran susceptibles a la influenza. Más tarde se supo que la idea que había llevado a utilizar los hurones era errada, ya que la enfermedad que había ocurrido en la colonia no era influenza ¡sino moquillo!<sup>9</sup>

Nº 12. Un grupo de bacteriólogos ingleses desarrolló un método efectivo para esterilizar el aire, mediante vaporizaciones de una solución de hexilresorcinol en propilen-glicol. Ellos llevaron a cabo una extensa investigación, probando diversas mezclas. Esta comprobó ser la

mejor; el glicol fue escogido simplemente como un vehículo apropiado para el desinfectante hexilresorcinol. Este trabajo despertó un interés considerable, ya que abría la posibilidad de prevenir la diseminación de las enfermedades transmitidas por el aire. Cuando otros investigadores se interesaron en el trabajo, hallaron que la efectividad de la mezcla no se debía al hexil-resorcinol, sino al glicol. Subsecuentemente, se demostró que los glicoles eran una de las mejores sustancias para la desinfección del aire. En este trabajo, fueron introducidos sólo como solventes de otros desinfectantes a los cuales se creía más activos, y en un principio ni siquiera se sospechó que ellos mismos pudieran tener ninguna acción desinfectante.<sup>78</sup>

Nº 13. En la Estación Experimental de Rothamsted, se efectuaron experimentos con el objeto de proteger plantas contra los insectos; entre los varios compuestos utilizados, se usó el ácido bórico y se notó que las plantas tratadas con esta sustancia se desarrollaban mucho mejor que el resto. La investigación de Davidson y Warington demostró que esto se debía a que las plantas requerían boro. Anteriormente, no se sabía que el boro fuera importante en la nutrición vegetal y aún por algún tiempo después del descubrimiento se creyó que esta deficiencia sólo tenía un interés académico. Más tarde, sin embargo, se encontró que algunas enfermedades de considerable importancia económica eran una simple manifestación de deficiencia de boro.<sup>102</sup>

Nº 14. El descubrimiento de los herbicidas selectivos se produjo inesperadamente, al efectuar estudios de los nódulos bacterianos de las raíces del trébol y de estimulantes del crecimiento de las plantas. Se encontró que esos nódulos bacterianos ejercían su acción deformante sobre los pelos de la raíz mediante la secreción de cierta sustancia. Pero cuando Nutman, Thorton y Quastel probaron la acción de esta sustancia sobre diversas plantas, se

sorprendieron al encontrar que la misma prevenía la germinación y el crecimiento. Más aún, ellos hallaron que esta acción era selectiva, siendo mucho mayor en contra de las plantas dicotiledóneas, entre las cuales están incluidas la mayoría de las malas hierbas o cizaña y menor contra las plantas monocotiledóneas, las cuales incluyen los diversos pastos y cereales. Entonces ensayaron diversos compuestos relacionados y hallaron algunos que son de gran valor en la agricultura actual como herbicidas selectivos.<sup>65</sup>

Nº 15. Algunos científicos que trabajaban en la técnica de la preservación de alimentos, trataban de prolongar "la vida" de la carne refrigerada, reemplazando el aire por anhídrido carbónico, el cual se sabía que tenía un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de los microorganismos de la putrefacción. Se encontró que el anhídrido carbónico a las altas concentraciones utilizadas causaba decoloración de la carne, y la idea fue abandonada. Algún tiempo más tarde, los científicos del mismo laboratorio, investigaban un método de refrigeración, en el cual estaba incluido la introducción de anhídrido carbónico en los cuartos donde se almacenaban los alimentos, y se llevaron a cabo observaciones para ver si el gas tenía o impartía algún efecto indeseable. Hallaron que la carne no sólo no se decoloraba sino, aún más, que en concentraciones relativamente bajas de anhídrido carbónico se conservaba en buenas condiciones durante mucho más tiempo que el ordinario. A partir de esta observación, se desarrolló el proceso de "conservación en gas" de la carne, en el cual se utiliza una concentración de 10 a 12 por ciento de dióxido de carbono. En esta concentración el gas prolonga efectivamente la "vida" de la carne refrigerada sin causar decoloración.<sup>13</sup>

Nº 16. Me encontraba investigando una enfermedad de los genitales de las ovejas, enfermedad esta de cur-

so muy prolongado y la cual se creía ser incurable, excepto por métodos quirúrgicos radicales. Algunas ovejas enfermas fueron enviadas desde el campo al laboratorio para llevar a cabo las investigaciones, pero fui sorprendido por el hecho de que todas ellas sanaban espontáneamente a los pocos días de su llegada. Al principio se pensó que los casos enviados no eran típicos, pero más tarde se demostró que la abstinencia autoimpuesta por las ovejas cuando se encuentran en un medio extraño, había curado la enfermedad. De este modo fue como se halló que esta enfermedad, refractaria a otras formas de tratamiento, podía ser curada en la mayoría de los casos por este simple expediente.

Nº 17. La coloración para las bacterias ácido-resistentes fue descubierta por Paul Ehrlich al dejar algunas preparaciones sobre una estufa, la cual luego fue encendida por alguien, inadvertidamente. El calor de la estufa, fue justo el requerido para hacer que esas bacterias de cubierta cética tomaran el colorante. Roberto Koch dijo: "Debemos sólo a esta circunstancia, el que la búsqueda del bacilo tuberculoso en el esputo, se haya convertido en una costumbre generalizada" (Paul Ehrlich, por M. Marquardt, 1949. Heinemann, Londres).

Nº 18. El doctor A. S. Parkes cuenta la siguiente historia acerca de cómo él y sus colegas efectuaron el importante descubrimiento de que la presencia del glicerol permite preservar células vivas a bajas temperaturas por mucho tiempo.

"En el otoño de 1948 mis colegas doctora Audrey Smith y el señor C. Polge, trataban de reproducir los resultados obtenidos por Schaffner, Henderson y Card (1941) al usar soluciones de levulosa para proteger espermatozoides de gallo contra los efectos de la congela-

ción y descongelación. Sus esfuerzos fueron poco fructíferos y en espera de nuevas ideas, varias de las soluciones fueron conservadas en la cava. Algunos meses más tarde se reanudó el trabajo con el mismo material, obteniéndose resultados negativos con todas las soluciones, excepto una, la cual preservaba la motilidad de los espermatozoides conservados a  $-79^{\circ}\text{C}$ . Este curioso resultado sugirió que los cambios químicos de la levulosa —posiblemente causados por el gran crecimiento de hongos que había ocurrido durante el almacenamiento—, habían producido una sustancia la cual poseía el poder de proteger a esas células contra los efectos de congelamiento y descongelamiento. Sin embargo, las pruebas posteriores demostraron que esa misteriosa solución no solamente no contenía azúcares poco comunes, sino que no contenía ningún tipo de azúcar. Mientras tanto, otras pruebas biológicas demostraron que después del congelamiento y descongelamiento no sólo se preservaba la motilidad, sino también el poder fertilizante. Llegado a este punto, se entregó al doctor Elliot la pequeña cantidad sobrante de solución (10-15 ml.) para ser analizada. Elliot informó que la solución contenía glicerol, agua y cierta cantidad de proteína. Fue entonces cuando nos dimos cuenta de que la solución de albúmina de Mayer que había sido utilizada al mismo tiempo que las soluciones de levulosa para efectuar estudios morfológicos de espermatozoides, también había sido conservada junto con ellas en la cava. Obviamente, había habido alguna confusión en los diversos frascos, aunque nunca supimos exactamente lo que había sucedido. Las pruebas con este nuevo material muy pronto demostraron que la albúmina no desempeñaba ningún papel en el efecto protector, y entonces todo nuestro trabajo se concentró en estudiar los efectos del glicerol como agente protector de las células vivas en contra de los efectos de las bajas temperaturas".<sup>115</sup>

Nº 19. En una comunicación personal, el doctor A. V. Nalvandov ha dado a conocer la intrigante historia de cómo él descubrió el simple método para mantener vivos los pollos después de haberseles removido quirúrgicamente la glándula pituitaria (hipofisectomía).

"En 1940 me interesé en los efectos de la hipofisectomía en los pollos. Aun después de haber logrado dominar la técnica quirúrgica, mis aves morían y a las pocas semanas de la operación ninguna había sobrevivido. Ni la terapia de reemplazo ni ninguna de las otras precauciones adoptadas fue de ayuda, y estaba a punto de aceptar la opinión de A. S. Parkes y R. T. Hill, de que los pollos hipofisectomizados simplemente no podían vivir. Me resigné a efectuar sólo unos pocos experimentos sencillos y a abandonar por completo el proyecto, cuando de pronto hallé que el 98 por ciento del grupo de aves hipofisectomizadas sobrevivió por tres semanas, y un gran número hasta por seis meses. La única explicación que pude encontrar fue que mi técnica había mejorado con la práctica. Entonces, cuando estaba listo para comenzar un experimento en gran escala, las aves de nuevo comenzaron a morir y al cabo de una semana aquellas recientemente operadas, como las que habían sobrevivido por varios meses, habían muerto. Este resultado por supuesto, iba en contra de mi eficacia quirúrgica. Sin embargo, continué con el proyecto, ya que sabía que las aves podían vivir bajo algunas circunstancias, las cuales yo desconocía. Por este tiempo, tuve un segundo período feliz, durante el cual la mortalidad fue, de nuevo, muy baja; pero, a pesar del cuidadoso análisis de todos los protocolos (posibilidad de enfermedad y algunos otros factores que fueron considerados y eliminados), no se encontró ninguna explicación. Ustedes pueden imaginarse cuán desalentador era sentirse incapaz de aprovechar algo que, obviamente, poseía un efecto pro-

fundo sobre la habilidad de esos animales para resistir la operación. Una noche, regresaba a mi casa de una fiesta por una vía que pasa cerca del laboratorio y a pesar de ser las dos de la madrugada, había luces encendidas en el cuarto de los animales. Pensé que tal vez un estudiante descuidado las había dejado así y, por lo tanto, decidí apagarlas. Varias noches después observé que las luces estaban encendidas de nuevo. Al inquirir, se descubrió que un cuidador suplente, quien estaba encargado de asegurarse que todas las ventanas y puertas del edificio quedaban cerradas durante la noche, prefería dejar encendidas las luces del cuarto de los animales, para, de este modo, poder encontrar más fácilmente la puerta de salida (ya que los conmutadores estaban lejos de la puerta). La comprobación posterior demostró que los dos períodos de sobrevivencia coincidían con los períodos de trabajo del guardián suplente. Experimentos llevados a cabo bajo severo control, muy pronto demostraron que todos los pollos hipofisectomizados mantenidos en la oscuridad morían, mientras que aquellos iluminados durante dos períodos de una hora cada uno por noche, vivían indefinidamente. La explicación fue que las aves mantenidas en la oscuridad no comían y desarrollaban una hipoglicemia de la cual no se recuperaban, mientras aquellas mantenidas bajo iluminación comían lo suficiente para prevenir esta hipoglicemia. A partir de ese momento, no hemos tenido ningún problema para mantener las aves hipofisectomizadas por todo el tiempo que se desee".

## BIBLIOGRAFIA

1. Allbutt, C. T. (1905). *Notes on the Composition of Scientific Papers*. MacMillan & Co. Ltd., London.
2. Anderson, J. A. (1945). "The preparation of illustrations and tables". *Trans. Amer. Assoc. Cereal Chem.*, 3, 74.
3. Andrewes, C. H. (1948). Comunicación personal.
4. Annual Report. New Zealand Dept. Agriculture, 1947-8.
5. Ashby, E. (1948). "Genetics in the Soviet Union". *Nature*, 162, 912.
6. Bacon, Francis (1605). *The Advancement of Learning*.
7. Bacon, Francis (1620). *Novum Organum*.
8. Baker, J. R. (1942). *The Scientific Life*. George Allen & Unwin Ltd., London.
9. Baker, J. R. (1945). *Science and the Planned State*. George Allen & Unwin Ltd., London.
10. Bancroft, W. D. (1928). "The methods of research". *Rice Inst. Pamphlet*, XV, p. 167.
11. Bartlett, F. (1947). *Brit. Med. J.*, Vol. I, p. 835
12. Bashford, H. H. (1929). *The Harley Street Calendar*. Constable & Co. Ltd., London.
13. Bate-Smith, E. C. (1948). Comunicación personal.
14. Bennetts, H. W. (1946). Discurso presidencial. Informe de la XXV reunión de la Australian and New Zealand Assoc. for the Advance of Science, Adelaida.
15. Bernard, Claude (1865). *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*. MacMillan & Co. Ltd., New York, 1927.
16. Bradford Hill, A. (1948). *The Principles of Medical Statistics*. The Lancet Ltd., London.

17. Bulloch W. (1935). *J. Path. Bact.*, 40, 621.
18. Bulloch, W. (1938). *History of Bacteriology*. Oxford University Press, London.
19. Burnet, F. M. (1944). *Bull. Aust. Assoc. Sci. Workers*, N° 55.
20. Butterfield, H. (1949). *The Origins of Modern Science, 1300-1800*. G. Bell & Sons Ltd., London.
21. Cannon, W. B. (1913). capítulo intitulado "Experiences of a medical teacher", en *Medical Research and Education*. Science Press, New York.
22. Cannon, W. B. (1945). *The Way of a Investigator*. W. W. Norton & Co. Inc., New York.
23. Chamberlain, T. C. "The method of multiple working hypotheses". *Science*, 15, 93.
24. Committee, 1944. *Lancet*, Sept. 16th, p. 373.
25. Conant, J. B. (1947). *On Understanding Science*. An Historical Approach. Oxford Univ. Press, London.
26. Cramer, F. (1896). *The Method of Darwin. A Study in Scientific Method*. McClurg & Co., Chicago.
27. Dale, H. H. (1948). "Accident and Opportunism in Medical Research". *Brit. Med. J.*, Sept. 4th, p. 451.
28. Darwin, F. (1888). *Life and Letters of C. Darwin*. John Murray, London.
29. Dewey, J. (1933). *How We Think*. D. C. Heath & Co., Boston.
30. Drewitt, F. D.. (1931). *Life of Edward Jenner*. Longmans, Green & Co., London.
31. Duclaux, E. (1896). *Pasteur: Historie d'un Esprit*. Sceaux, Paris.
32. Dunn, J. Shaw, Sheehan, H. L., y McLetchie, N.G.B. (1943). *Lancet*, 1. p. 484.
33. Edwards, J. T. (1948). *Vet. Rec.*, 60, 44.
34. Einstein, Albert (1933). *The Origin of the General Theory of Relativity*. Jackson, Wylie & Co., Glasgow.
35. Einstein, Albert (1933). Prefacio en *Where is Science Going?* por Max Planck. Trans. por James Murphy. George Allen & Unwin Ltd., London.
36. Faraday, Michael (1844). *Philosophical Mag.*, 24, 136.
37. Felix, A. Comunicación personal.
38. Fisher, R. A. (1936). "Has Mendel's work been rediscovered?" *Ann. Sci.*, 1, 115.
39. Fisher, R. A. (1935). *The Design of Experiments*. Oliver & Boyd, London.
40. Fisher, R. A. (1938). *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver & Boyd, London y Edinburgh.
41. Fleming, A. (1929). *Brit. J. Exp. Path.*, 10, 226.
42. Fleming, A. (1945). *Nature*, 155, 796.
43. Florey, H. (1946). *Brit. Med. Bull.*, 4, 248.
44. Foster, M. (1899). *Claude Bernard*. T. Fisher Unwin Ltd., London.
45. Frank, P. (1948). *Einstein. His Life and Times*. Jonathan Cape Ltd., London.
46. Gatke, H. (1895). *Heligoland as an Ornithological Observatory*. D. Douglas, Edinburgh.
47. George, W. H. (1936). *The Scientist in Action. A Scientific Study of his Methods*. Williams & Norgate Ltd., London.
48. Gregg, Alan (1941). *The Furtherance of Medical Research*. Oxford University Press, London, y Yale University Press.
49. Greiff, D., Pinkerton, H., y Moragues, V. (1944). *J. Exp. Med.*, 80, 561.
50. Hadamard Jacques (1945). *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Oxford University Press, London.
51. Harding, Rosamund E. M. (1942) *An Anatomy of Inspiration*. W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge.
52. Herter, C. A. Capítulo intitulado "Imagination and Idea-

53. Hirst, G. K. (1941). *Science*, 94, 22.
54. Hughes, D. L. (1948). "The present-day organisation of veterinary research in Great Britain: Its Strength and Weaknesses". *Vet. Rec.*, 60, 461.
55. Kapp, R. O. (1948). *The Presentation of Technical Information*. Constable & Co., London.
56. Kekulé, F. A., citado por J. R. Baker (1942) de Schultz, G. 1890. *Ber. deut. Chem. Ges.*, 23, 1265.
57. Koch, R. (1890) "On Bacteriology and its Results" Conferencia pronunciada en la primera reunión general del décimo Congreso Médico Internacional, Berlin. Bailliere, Tindall & Cox, London.
58. Koenigsberger, L. (1906). *Hermann von Helmholtz*. Clarendon Press, Oxford.
59. Lehman, H. C. (1943). "Man's most creative years: then and now". *Science*, 98, 393.
60. McClelland, L., y Hare, R. (1941). *Canad. Publ. Health J.*, 32, 530.
61. Mces, C. E. Kenneth, y Baker, J. R. (1946). *The Path. of Science*. John Wylie & Sons, New York, y Chapman & Hall Ltd., London.
62. Metchnikoff, Elie. citado por Fried, B. M. (1938). *Arch. Path.*, 26, 700.
63. Nicolle, Charles (1932). *Biologie de l'Invention*. Alcan, París.
64. North, E. A. Comunicación personal.
65. Nutman, P. S., Thornton, H. G. y Quastel, J. H. (1945). *Nature*, 155, 498.
66. Nuttall, G. H. F. (1938). En *Background to Modern Science*, editado por Needham & Pagel. Cambridge University Press.
67. Ostwald, W. (1910). *Die Forderung der Tages*. Leipzig.
68. Pavlov, I. P. (1936). "Bequest to academic youth". *Science*, 83, 396.
69. Pearce, R. M. (1913). En *Medical Research and Education*. The Science Press, New York.
70. Planck, Max (1933). *Where is Science Going?* Trans. por James Murphy. George Allen & Unwin Ltd., London.
71. Platt, W., y Baker, R. A. (1931). "The Relationship of the Scientific 'Hunch' Research". *J. Chem. Educ.* 8, 1969.
72. Poincaré, H. (1914). *Science and Method*. Thos. Nelson & Sons, London. Trans. por F. Maitland.
73. Robertson, O. H., Bigg, E., Puck, T. T., y Miller, B. F. (1942). *J. Exp. Med.*, 75, 593.
74. Robertson, T Brailsford (1931). *The Spirit of Research*. Preece and Sons. Adelaide.
75. Robinson, V. (1929). *Pathfinders in Medicine*. Medical Life Press, New York.
76. *Rockefeller Foundation Review for 1943*, por R. B. Fosdick.
77. Rous, P. (1948). "Simon Flexner and Medical Discovery". *Science*, 107, 611.
78. Roux, E., citado por Duclaux, E., 1896.
79. Russell, Bertrand (1948). *Human Knowledge. Its Scope and Limits*. George Allen & Unwin Ltd., London.
80. Schiller, F. C. S. (1917). "Scientific Discovery and Logical Proof". En *Studies in the History and Method of Science*, editado pro Charles Singer. Clarendon Press, Oxford.
81. Schmidt, J. (1898). *Vet. Rec.*, 10, 372.
82. Schmidt, J. (1902). *Ibid.*, 15, 210, 249, 287, 329.
83. Scott, W. M. (1947). *Vet. Rec.*, 59, 680.
84. Sinclair, W. J. (1909). *Semmelweis, His Life and Doctrine*. Manchester University Press.
85. Smith, Theobald (1929). *Am. J. Med. Sci.*, 178, 740.
86. Smith, Theobald (1934). *J. Bact.*, 27, 19.



87. Snedecor, G. W. (1938). *Statistical Methods applied to Experiments in Agriculture and Biology*. Collegiate Press Inc., Ames, Iowa.
88. Stephenson, Marjory (1948). "F. Gowland Hopkins". *Biochem. J.*, 42, 161.
89. Stephenson, Marjory (1949). *Bacterial Metabolism*. Longmans, Green & Co., London.
90. Taylor, E. I. (1948). "The Present-day Organisation of Veterinary Research in Great Britain: Its Strength and Weaknesses". *Vet. Rec.*, 60, 451.
91. Topley, W. W. C., y Wilson, G. S. (1929). *The Principles of Bacteriology and Immunity*. Edward Arnold & Co., London.
92. Topley, W. W. C. (1940). Authority, Observation and Experiment in Medicine. Linacrè Lecture. Cambridge University Press.
93. Trelease, S. F. (1947). *The Scientific Paper; How to Prepare it; How to Write it*. Williams & Wilkins Co., Baltimore.
94. Trotter, W. (1941). *Collected Papers of Wilfred Trotter*. Oxford University Press, London.
95. Tyndall, J. (1868). *Faraday as a Discoverer*. Longmans, Green & Co., London.
96. Ungar, J. (1943). *Nature*, 152, 245.
97. Vallery-Radot, R. (1948). *Life of Pasteur*. Constable & Co. Ltd., London.
98. Wallace, A. R. (1908). *My Life*. Chapman & Hall Ltd., London.
99. Wallas, Graham (1926). *The Art of Thought*. Jonathan Cape Ltd., London.
100. Walshe, F. M. R. (1944). "Some general considerations on higher or post-graduate medical studies". *Brit. Med. J.*, Sept. 2, p. 297.
101. Walshe, F. M. R. (1945). "The Integration of Medicine". *Brit. Med. J.*, May 26, p. 723.
102. Warington, K. (1923). *Ann. Bot.*, 37, 629.
103. Wertheimer, M. (1943). *Productive Thinking*. Harper Bros., New York.
104. Whitby, L. E. H. (1946). *The Science and Art of Medicine*. Cambridge University Press.
105. Willis, R. (1847). *The Works of William Harvey, M.D.* The Sydenham Society, London.
106. Wilson, G. S. (1947). *Brit. Med. J.*, Nov 29, p. 855.
107. Winslow, C. E. A. (1943). *The Conquest of Epidemic Diseases*. Princeton University Press.
108. Zinsser, Hans (1940). *As I Remember Him*. MacMillan & Co. Ltd., London; Little, Brown & Co., Boston y Atlantic Monthly Press.
109. Gram, C. (1884). *Fortschritte der Medicin, Jahrg. II*, p. 185.
110. Cajal, S. Ramón y (1951). *Precepts and Counsels on Scientific Investigation. Stimulants of the Spirit*. Trans. por J. M. Sánchez-Pérez. Pacific Press Publ. Assn., Mountain View, California.
111. Conant, J. B. (1951). *Science and Commonsense*. Oxford University Press.
112. Dubos, René J. (1950). *Louis Pasteur: Freelance of Science*. Little, Brown & Co., Boston.
113. Marquardt, M. (1949). *Paul Ehrlich*. Wm. Heinemann Limited.
114. Peters, J. T. (1940). *Act. Med. Scand.*, 126, 60.
115. Parkes, A. S. (1956). Actuaciones del III Congreso Internacional de Reproducción Animal, Cambridge, 25-30 de junio de 1956.

## INDICE ANALITICO

### A

Accidentales, descubrimientos: 60.  
Acido resistente, coloración: 249.  
Aglutinación: 54.  
Aire, esterilización: 246.  
Analogía: 146.  
Anafilaxia: 53.  
Anilina, colorante: 242.  
Anotaciones: 123.  
Antrax: 149.  
Aplicada, investigación: 191.  
Aislados, trabajadores: 235.  
Atributos para la investigación: 211.

### B

Bacon, Francis: 18, 22, 93, 130, 179, 206.  
Baker, J. R.: 118.  
Bancroft, W. D.: 49, 224.  
Barcroft, Sir Joseph: 30, 230.  
Bartlett, Sir Frederic: 96.  
B. C. G. vacunación: 39.

Bennets, H. W.: 78, 236.  
Bernard, Claude: 17, 73, 82, 120, 139, 150, 218, 242.  
Bessemer: 17.  
Biografías de científicos: 23.  
Biometría: 22, 41.  
Boro, deficiencia: 247.  
Burnet, Sir MacFarlane: 24, 92, 95, 119, 160, 233.  
Butterfield, H.: 163.  
Byron, Lord: 17.

### C

Cannon, W. B.: 110, 113, 178, 232.  
Celsus: 206.  
Caldo bordelés: 243.  
Casualidad (chance): 51.  
Cambio de ¿puesto?: 235.  
Campesinos: 27.  
Científicos, bandidos: 220.  
Científica, vida: 228.  
Ciencia, Libertad en: 183.  
Congelada, carne: 248.  
Colón, Cristóbal: 71.  
Comités: 185.  
Competitivos, intereses: 22.

Cólera aviar: 51.  
Coloraciones: 249.  
Conferencias, científicas: 24.  
Congresos: 236.  
Cobre, deficiencia: 78.  
Cramer, F.: 221.  
Creadora edad: 236.  
Curiosidad: 98.

## CH

Chamberlain, T. C.: 83.

## D

Dale, Sir Henry: 53, 59, 124, 230.  
Darwin, Charles: 49, 95, 111, 134, 144, 151, 159, 212.  
Davy, Humphry: 96, 225.  
Descartes, René: 118, 130.  
Dewey, J.: 87, 96.  
Diabetes: 53.  
Diamidina: 77.  
Dificultades: 163.  
Difteria, toxina: 72.  
Discusión: 101, 236.  
Domagk, G.: 76.  
Duclaux, E.: 52.  
Dunn, J. Shaw: 53.  
Durham, H. E.: 54.

## E

Edwards, J. T.: 62.  
Ehrlich, Paul: 75, 214, 249.

Einstein, Albert: 92, 97, 207, 214, 216.  
Electricidad, descubrimiento: 241.  
Electromagnética, inducción: 242.  
Entusiasmo: 234.  
Escritos científicos: 26.  
Estímulo: 234.  
Estrategia: 183.  
Ética: 219.  
Exámenes: 214.  
Experimentos: 33.

definición: 33.  
tontos: 139.  
engañosos: 46.  
factor múltiple: 44.  
negativo: 49.  
piloto: 35.  
diseño: 41, 189.  
anotación: 38.  
preliminar, de: 35.

Extrasensoria percepción: 166.  
Evolución: 111.

## F

Falacia: 42, 45, 178.  
Falsos senderos: 94.  
Faraday, Michael: 95, 135, 172, 205, 219.  
Fiebre de la leche: 74.  
Fisher, Sir Ronald: 42, 44, 83, 166.

Fleming, Sir Alexander: 62, 65, 145, 230, 244.  
Flexner, Simón: 229, 231.  
Florey, Sir Howard: 65, 146, 206, 244.  
Frustraciones: 218.

## G

Galvani, L.: 241.  
Gas, almacenamiento: 248.  
Gauss: 113, 225.  
Gemelos: 43.  
George, W. H.: 92, 96, 141, 152, 156, 208.  
Glicógeno, síntesis: 243.  
Gráficas: 46.  
Gram, coloración: 52.  
Gregg, Alan: 59, 158.  
Griff, D., et al.: 244.  
Gusto, científico: 124.

## H

Hadamard, Jacques: 96, 110, 113.  
Hemaglutinación: 56.  
Hamilton, Sir W.: 225.  
Harding, Rosamund E. M.: 90, 93.  
Harvey, William: 153, 164, 171.  
Herbícidas: 247.  
Heródoto: 154.  
Hirst, G. K.: 56.  
Historia de la Ciencia: 23.

Hopkins, Sir F. Gowland: 55.

Hunter, John: 47, 100.  
Huxley, Thomas: 83, 95, 226.

Hipótesis: 71.  
ilustraciones: 71.  
múltiple: 83.  
precauciones: 81.  
uso: 78.

## I

Idiomas: 21.  
Ilustraciones (ejemplos): 51.  
Imaginación: 87.  
Incentivos: 215.  
Índice, tarjetas: 20.  
Influenza, virus: 246.  
Inspiración: 109.  
Intuición: 88, 109.  
psicología de: 115.  
Investigación, institutos, tamaño: 190.  
fronteras: 194.  
de desarrollo: 128, 194.  
exploratoria: 128, 194.  
tipos: 191.

## J

Jackson, Hughlings: 28, 118, 144.  
Jenner, Edward: 66, 218.  
Jowett: 231.

## K

Kekulé, F. A.: 91.  
 Kelvin, Lord: 219, 225.  
 Kettering, Charles: 16.  
 Koch, R.: 180, 249.  
 Kropotkin, Prince: 110, 217.

## L

Laboratorio, neurosis: 231.  
 Landsteiner: 65.  
 Lectura: 19.  
 Lister: 96.  
 Loeb, Jacques: 102.  
 Loewi, Otto: 113.

## M

McClelland, L. & Hare, R.:  
 56.  
 Malthus: 111.  
 Mees, C. E. K.: 226.  
 Mendel, Gregor: 83, 166.  
 Metchnikoff, Elie: 113, 225.  
 Método de transferencia:  
 195.  
 Millardet: 243.  
 Mentes científicas: 224.  
 Minkowski: 52.  
 Mules, operación de: 47.

## N

Nalbandov, A. V.: 251.  
 Nacional, celos: 223.

Natural, ciencia: 214.  
 Needham: 47.  
 Neufeld: 65.  
 Newton: 225.  
 Nicolle, Charles: 29, 224.  
 Noguchi: 28.  
 Nutman, P. S., et al.: 247.

## O

Observación: 149.  
 inducida: 158.  
 espontánea: 158.  
 anotaciones: 38, 160.  
 Occam, William: 136.  
 Ocrsted: 241.  
 Oportunidades: 61.  
 aprovechamiento: 64.  
 Oportunismo: 60.  
 Oposición a los descubri-  
 mientos: 170.  
 Ostwald, W.: 21, 124, 226,  
 238.

## P

Pareamiento: 43.  
 Paraminobenzoico, ácido:  
 244.  
 Parkes, A. S.: 249.  
 Pasteur, Louis: 51, 60, 149,  
 151, 212, 218, 226.  
 Pavlov, I. P.: 100, 233.  
 Penicilina: 244.  
 Pensamiento condicionado:  
 103.  
 creador: 87.

Perkin, W. H.: 242.  
 Planck, Max: 90, 97.  
 Planeamiento y organiza-  
 ción: 183.  
 ataque: 28.  
 Platt, W. & Baker, R. A.:  
 110, 115, 121.  
 Poincaré, H.: 110, 112, 134.  
 Precursoras, ideas: 64.  
 Preparación: 15.  
 Problema, definición del:  
 28.  
 enfoque: 25.  
 escogencia: 25.  
 Psicología de la intuición:  
 115.  
 Publicación: 205.  
 Publicaciones científicas: 15.  
 Pura, investigación: 191.

## Q

Quimioterapia: 58.  
 Quinina: 197.

## R

Ramón: 243.  
 Racionalizar: 140.  
 Rayos X: 242.  
 Razón: 129.  
 Razonamiento deductivo:  
 133.  
 inductivo: 133.  
 Referencia: 26.

Resistencia a nuevas ideas:  
 163.  
 Rebaño, instinto de: 167.  
 Richet, Charles: 53.  
 Ringer, solución: 54.  
 Röntgen: 62, 242.  
 Roux, Emile: 72.  
 Rush, B.: 85.  
 Rusa, genética: 173.

## S

Salvarsan: 76.  
 Schiller, F. C. S.: 131, 132,  
 Schmidt, J.: 74.  
 Scott, W. M.: 118.  
 Semmelweis, Ignaz: 171,  
 174, 177.  
 Smith, Theobald: 38, 65,  
 139, 173.  
 Spencer, Herbert: 21.  
 Sulfanilamida: 76.  
 Sulfapiridina: 245.

## T

Tácticas: 198.  
 Taylor, E. L.: 90, 227.  
 Teleología: 99.  
 Textos, libros: 26.  
 Topley, W. W. C.: 185.  
 Trabajo, de equipo: 123,  
 124, 187, 188.  
 Transferencia, método: 129,  
 195.

Trotter, Wilfred: 132, 140,  
168, 172.

Tyndall, J.: 94, 167, 202.

Tifus, diagnóstico: 55.

## U

Ungar, J.: 244.

## V

Vacaciones: 231.

Vacunación: 67.

Vesalius: 165.

Von Bruecke: 99.

Von Helmholtz, Hermann:

97, 237.

Von Mering: 52.

## W

Wallace, A. R.: 111, 118,  
217.

Wallas, Graham: 110, 119.

Wassermann: 75.

Waterston, J. J.: 172.

Weil & Felix: 55, 65.

Whewell: 225.

Whitby, Sir Lionel: 245.

Wilson, G. S.: 39.

Winslow, C. E. A.: 178.

Wright, Sir Almroth: 38.

## Z

Zinsser, Hans: 92, 145, 171.

## INDICE GENERAL

	Pág.
PREFACIO .....	9
Cap. I. PREPARACION	
Estudio .....	15
Trabajo preliminar .....	25
Sumario .....	30
Cap. II. EXPERIMENTACION	
Experimentos biológicos .....	33
Diseños y evaluación de los experimentos .....	41
Experimentos engañosos .....	46
Sumario .....	50
Cap. III. CASUALIDAD	
Ejemplos ilustrativos .....	51
Papel de la casualidad en los descubrimientos .....	57
Apreciación de las oportunidades .....	61
Aprovechamiento de las oportunidades .....	64
Sumario .....	69
Cap. IV. HIPOTESIS	
Ilustraciones .....	71
Uso de la hipótesis en investigación .....	78
Precauciones en el uso de las hipótesis .....	81
Sumario .....	86

	<u>Pág.</u>
Cap. V. IMAGINACION	
El pensamiento creador .. . . . . .	87
Falsos senderos .. . . . . .	94
La curiosidad como incentivo del pensar ..	98
La discusión como estímulo mental .. .	101
Pensar condicionado .. . . . . .	103
Sumario .. . . . . .	106
Cap. VI. INTUICION	
Definición e ilustraciones .. . . . . .	109
Sicología de la intuición .. . . . . .	115
Técnica de la búsqueda y captura de las intuiciones .. . . . . .	121
El gusto científico .. . . . . .	124
Sumario .. . . . . .	127
Cap. VII. LA RAZON	
Limitaciones y riesgos .. . . . . .	129
Precauciones que deben observarse cuando se utiliza la razón en la investigación ..	135
Papel de la razón en la investigación .. .	143
Sumario .. . . . . .	147
Cap. VIII. OBSERVACION	
Ilustraciones .. . . . . .	149
Algunos principios generales en la obser- vación .. . . . . .	152
Observación científica .. . . . . .	157
Sumario .. . . . . .	162
Cap. IX. DIFICULTADES	
Resistencia mental a las nuevas ideas .. .	163
Oposición a los descubrimientos .. . . .	170

	<u>Pág.</u>
Errores de interpretación .. . . . . .	175
Sumario .. . . . . .	182
Cap. X. ESTRATEGIA	
Plan y organización de la investigación ..	183
Diferentes tipos de investigación .. . . .	191
El método de transferencia en la investigación	195
Tácticas .. . . . . .	198
Sumario .. . . . . .	208
Cap. XI. CIENTIFICOS	
Atributos requeridos para la investigación ..	211
Incentivos y galardones .. . . . . .	215
La ética de la investigación .. . . . . .	219
Diferentes tipos de mentes científicas .. .	224
La vida científica .. . . . . .	228
Sumario .. . . . . .	239
APENDICE .. . . . . .	241
BIBLIOGRAFIA .. . . . . .	253
INDICE ANALITICO .. . . . . .	261



El número 10 de la COLECCION AVANCE  
se imprimió en la Imprenta Universitaria,  
Caracas, en el mes de enero de 1966