

Ernesto N. Martínez

**Cómo se escribe un informe
de laboratorio**

 *Eu-de-ba*

Martínez, Ernesto N.
Cómo se escribe un informe de laboratorio. - 1º ed.- Buenos Aires :
Eudeba, 2004
160 p. ; 21x14 cm. (Cuadernos)
ISBN N° 950-23-1319-4
1. Metodología de la Investigación I Título
CDD 001.4



Eudeba
Universidad de Buenos Aires

1ª edición: abril de 2004

© 2004
Editorial Universitaria de Buenos Aires
Sociedad de Economía Mixta
Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires
Tel.: 4383-8025 / Fax: 4383-2202
www.eudeba.com.ar

Diseño de tapa: *Silvina Simonder*
Corrección y diagramación general: Eudeba

ISBN 950-23-1319-4
Impreso en Argentina.
Hecho el depósito que establece la ley 11.723



No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor.

Índice general

Prefacio	9
1 El informe de laboratorio y la ciencia	11
1.1 El sistema de las publicaciones científicas	12
1.1.1 Los artículos científicos	14
1.1.2 Cómo se publican los artículos	15
1.2 El origen de estas reglas	18
2 El contenido del informe	19
2.1 El péndulo: un caso real como ilustración	19
2.2 Las notas del trabajo	21
2.3 El cuaderno de laboratorio	22
2.4 El enfoque y el público de la historia	25
2.5 El ejemplo del péndulo	27
3 Tablas y gráficos	31
3.1 Las tablas	32
3.2 Los gráficos	34
3.2.1 Gráficos a mano alzada	36
3.2.2 Gráficos finales	38
3.2.3 En el ejemplo del péndulo	39
4 La forma del informe	45
4.1 Las instrucciones a los autores	45
4.2 El sistema IMRD	46
4.3 El orden en la vida real	49

5	Los métodos	53
5.1	Instrucciones generales	53
5.2	El péndulo: los métodos	56
6	Los resultados	65
6.1	Instrucciones generales	65
6.1.1	Ética científica	66
6.1.2	El decálogo de Gaviola	67
6.2	El péndulo: los resultados	68
6.3	Controles a Métodos y Resultados	73
7	La discusión	75
7.1	Instrucciones generales	75
7.2	El péndulo: la discusión	76
8	La introducción	81
8.1	Instrucciones generales	81
8.2	El péndulo: la introducción	82
8.3	Las expresiones matemáticas	85
9	El material accesorio	87
9.1	Los autores	87
9.2	Dirección de los autores	89
9.2.1	Separatas	90
9.2.2	Fechas de recepción y aceptación	91
9.3	El resumen	92
9.3.1	Informativo o indicativo	94
9.3.2	Códigos en los resúmenes	96
9.4	El péndulo: el resumen	98
9.5	El título	100
9.5.1	El péndulo: el título	102
9.6	Los agradecimientos	102
9.7	La bibliografía	103
9.7.1	Bibliografía propia	108
9.7.2	El péndulo: las referencias	109

10	El tono del informe	111
10.1	El estilo científico	111
10.2	El sonido de la objetividad	113
10.3	Clichés usados en artículos de investigación	116
10.4	Escribiendo en castellano	118
10.5	Los errores más frecuentes	122
11	Exposiciones personales	125
11.1	Presentaciones orales	125
11.2	Murales	129
	Apéndice: el informe del péndulo	133
	Bibliografía	145

Prefacio

Este libro es una recopilación personal y parcial de las reglas prácticas, consejos y supersticiones sobre la elaboración de un informe de laboratorio que circulan en el Instituto Balseiro de Bariloche y en otras universidades. Como estos informes se escriben dentro de una materia (universitaria, a veces secundaria o terciaria), lo más prudente es redactarlos *como el profesor quiera*. El título no tiene un ánimo prescriptivo, ya que no existe una norma, sino descriptivo: cuento cómo se está escribiendo, y que el profesor tome nota.

A nuestros estudiantes les cuesta horrores escribir. Sin embargo, la postura de nuestro gremio frente a este problema refleja el desinterés de Roma frente a la educación sexual. Hasta nos atrincheramos en las mismas tres líneas de defensa: no es un problema; ya aprenderán cuando llegue el momento; que les enseñe otro. Así es que le agradezco doblemente por su interés en el tema a la Editorial Universitaria de Buenos Aires, cuyos deseos son órdenes para un hijo de los sesenta.

Este manual no tiene pretensiones de originalidad; mientras que a lo largo del texto he tratado de mencionar mis fuentes, si me he olvidado de algunas cosas, me consuela pensar que no habrán sido más originales que yo. Mi agradecimiento a Jorge Sofo, Alberto Rojo, Oscar Martínez y Graciela Cros, y en especial a Hernán Bonadeo por buenos consejos tan a destiempo.

Capítulo 1

El informe de laboratorio y la ciencia

Entrar por primera vez a un laboratorio universitario es una experiencia que un estudiante de ciencias no olvida nunca; medir en serio es realizar un sueño. Pero no hay bien que por mal no venga: redactar informes de laboratorio es una de las exigencias más pesadas que le caen encima a un estudiante al principio de una carrera de ciencias. A la cátedra no le basta con que trabaje bien y el experimento le salga, sino que le exige un relato escrito, como si no hubieran visto y controlado lo que hizo en el laboratorio. Cuando entrega el informe, le critican la organización, la gramática y hasta la ortografía, como si fuera un estudiante de Filosofía y Letras.

Oigo estas quejas de mis alumnos, y en mis tiempos las he voceado yo. En este capítulo veremos por qué sus profesores le piden que escriba informes de laboratorio, a qué se debe la insistencia de la cátedra en un formato y orden especiales, y por qué a usted le conviene aprender a redactar bien estos informes. El resto del libro lo dedicaremos a discutir sobre todo la forma, y algo el tono, de un informe.

Las prácticas de laboratorio tienen varias finalidades, aparte de permitirle aprender ciencia algo más allá de la tiza y el

pizarrón: enseñarle a trabajar en una forma ordenada, a usar equipo complejo, a planear experimentos, a medir con cuidado y sistemáticamente, y a poner por escrito sus resultados y conclusiones de manera profesional. Los resultados de su experimento en sí no le interesan demasiado a la cátedra, y el texto que usted escribe sobre la tarde que pasó en el laboratorio tampoco le importa mucho: el cometido real de esos informes es entrenarlo a usted en la redacción científica. Así pues, lo que la cátedra le exige a usted al comienzo de la licenciatura está determinado por la manera en que los científicos en actividad relatan sus hallazgos.

1.1 El sistema de las publicaciones científicas

La ciencia actual es una empresa colectiva. Durante los tres siglos pasados se ha amasado tal cantidad de conocimientos, y conocimiento sobre cómo adquirir conocimientos, que ya ningún científico es capaz de dominar todo el saber humano. Por dotado que sea, ni siquiera puede reproducir críticamente el saber de su propia disciplina. Por lo tanto, se ve obligado a aceptar porciones de su ciencia como ciertas y probadas, para seguir adelante desde ahí.

Un descubrimiento científico no está completo hasta que lo publican, por relevante que sea. No sólo porque el saber privado nos resulta tan dudoso que ni siquiera lo consideramos conocimiento, sino porque a partir de su publicación la comunidad científica se ocupa de criticarlo, validarlo e incorporarlo, así, a la ciencia o rechazarlo. Si la comunidad va a criticar el descubrimiento, el descubridor debe brindar detalles amplios y exhaustivos sobre cómo lo ha adquirido.

Es la comunidad científica entera, de manera abierta y pública, la que debe ocuparse de esta trilla, y no los ministros del ramo. Abundan los ejemplos de lo que sucede cuando los

poderosos deciden sobre qué es científicamente válido. Arrancan desde el comienzo de la ciencia moderna, con el esfuerzo por reprimir las herejías copernicanas de Galileo, y llegan hasta el caso Lysenko en la URSS de Stalin, o el fiasco Richter en nuestro propio país[1].

Una investigación científica no está lista, entonces, hasta que se hacen públicos los resultados. Aquí le relataré cómo se anuncian estos resultados. Los medios que usan los legos son conocidos: en una conferencia de prensa en TV, en una entrevista con un diario, escribiendo un libro.

Estos medios no funcionan en lo nuestro. Las entrevistas, sean de televisión o en la prensa escrita, son muy cortas y superficiales; ahí no se puede entrar en los detalles finos que permitirían duplicar el trabajo. Además, los científicos odian cordialmente a aquellos colegas que acuden a la prensa. En marzo de 1989, Martin Fleischmann y Stanley Pons, que creían haber descubierto cómo producir energía de fusión con medios muy simples, cometieron el error de contárselo a los periodistas antes que a sus colegas. Este procedimiento les aseguró una recepción fría de parte de la comunidad científica; el hecho de que la mayoría de los grupos de investigación no pudiera reproducir la "fusión fría" aseguró la muerte de la idea.

Quedan los libros, entonces. De ellos estamos acostumbrados a aprender; leyendo libros es cómo hemos estudiado ciencia hasta ahora, cómo nos hemos enterado de lo que hay en la ciencia. Sin embargo, no son los libros lo que usan los científicos para mantenerse al tanto de lo que sucede en la ciencia. Como les interesa la investigación original y no la erudición, necesitan saber, más que lo que ya se sabe, dónde está ahora la frontera entre lo conocido y lo ignorado. Pero los libros son demasiado extensos (algunas centenas de páginas), escribirlos lleva demasiado tiempo y sería muy caro hacerlos llegar a todos los interesados.

1.1.1 Los artículos científicos

Los investigadores hacen conocer su trabajo en textos mucho más breves que un libro, de una decena de páginas. El mecanismo que han desarrollado los científicos para asegurar que lo que se descubre llegue pronto a todos, y que al mismo tiempo ese conocimiento sea creíble, es el sistema de la *publicación científica*. Su origen está en las cartas que se intercambiaban los filósofos experimentales europeos (la palabra "científico" es una invención reciente) en el mil seiscientos.

El relato escrito actual es un heredero directo de aquellas cartas. Toma la forma de un *artículo científico*, en inglés *paper*. Ésta es la palabra que suelen usar los estudiantes de ciencias cuando tienen que estudiar de un artículo de investigación, y no de un libro. Un artículo se dedica a una sola cosa, su tema es muy estrecho, puntual, como las prácticas de laboratorio de primer año. Un artículo científico publica por primera vez resultados nuevos: los resultados, sean teóricos o experimentales, **deben ser originales**. No pueden ser plagiados de otros investigadores. Tampoco vale el autoplagio: los resultados pueden publicarse sólo una vez.

Estas reglas admiten unas pocas excepciones: un artículo de *review* pasa revista a lo que se sabe de un tema (cuando todavía no se sabe suficiente como para escribir un libro, o nadie tiene tiempo de hacerlo) y no necesita ser original (aunque, por supuesto, una revisión crítica o reinterpretación de material ya conocido puede ser enormemente original); un mismo artículo se reimprime a veces, por ejemplo cuando se publica un *Festschrift* (libro de homenaje) que recopila todas las publicaciones de un científico famoso, o cuando se juntan varios artículos en un volumen con fines didácticos. En todos los casos, estas reimpresiones se llevan a cabo con la aprobación explícita de los editores originales.

1.1.2 Cómo se publican los artículos

Los artículos científicos se publican en revistas especializadas (*journals*, en inglés), que se multiplican a medida que las disciplinas se hacen más estrechas y profundas. Las bibliotecas de los centros de investigación se suscriben a algunas revistas generales de ciencias, como *Nature* o *Science*, y a otras más especializadas de acuerdo al interés (y medios) de los grupos de investigación locales. Como las suscripciones son caras, mantenerse al día está más allá de las posibilidades de un científico individual. Por la misma razón, si en su institución no se investiga, es poco probable que haya revistas científicas.

Cuando un investigador llega a un resultado nuevo, lo escribe como un artículo, según las normas que vamos a estudiar, y lo envía, por correo postal o electrónico, a la revista que prefiere, junto con una carta en donde le explica al responsable de la revista por qué su artículo merece ser publicado. En la gran mayoría de los casos, toda esta transacción se lleva a cabo en idioma inglés, que en el último siglo se ha impuesto como la *lingua franca* de la ciencia.

El responsable científico del contenido de una revista se llama *editor*, un significado tomado del inglés, ya que entre nosotros un editor es el responsable de la fabricación material de libros o revistas.

Los editores quieren mantener el prestigio de sus revistas. Como los autores que les escriben van desde profesionales muy competentes hasta chiflados, los editores deben seleccionar lo que publican. Si el editor opina que el artículo es malo o que su revista no es el vehículo apropiado (un artículo de biofísica enviado a una revista de biología), lo rechaza directamente.

En otros casos menos simples, el editor le envía al autor una nota de recepción del trabajo (la fecha de recepción cuenta como la fecha legal del descubrimiento, si hubieran disputas posteriores por la prioridad), y les pide consejo a sus colegas. El editor les envía copias del artículo a un par de científicos

que entienden del tema y les pide su opinión. Estos *referís* critican el artículo, aconsejan publicarlo o no, y en el primer caso usualmente sugieren cambios para mejorarlo. Los referís no son pagos, y su contribución es anónima. En general son científicos que han publicado antes en esa revista sobre temas similares al del artículo en discusión. Actuar como referí de vez en cuando es una carga pública que todo investigador asume voluntariamente.

Cuando el editor tiene las respuestas de los referís, les hace llegar copias sin las firmas al autor, junto con su decisión. Básicamente, ésta puede tomar cuatro formas: genial, su artículo está aceptado tal como está; queremos publicarlo, pero habría que introducirle ciertos cambios; no queremos publicarlo, pero si vuelve a escribirlo, lo discutiremos; o no es para nosotros, muchas gracias y adiós. En el último caso no vale la pena discutir. El primer caso es muy raro si uno no es un gran bonzo; la mayoría de los artículos caen en las dos situaciones intermedias, lo que lleva a una discusión en que el autor modifica su artículo para complacer parcialmente a los referís (pero no del todo, la propia dignidad exige una cierta resistencia), hasta que el editor da su aprobación. Esto lo hace enviando una *carta de aceptación*. Su recepción es una ocasión para llevar una torta o champán al laboratorio.

Cuando finalmente el artículo aparece impreso, sabemos que por lo menos le han pasado el peine fino algunos colegas y que no ha de estar groseramente mal. El sistema no es perfecto: se cuelan artículos equivocados; se rechazan *papers* visionarios; mientras que los científicos famosos pueden publicar casi lo que se les ocurra, a veces se nota (o nosotros creemos notar) cierta discriminación contra los autores del Tercer Mundo. Todo eso es cierto, y mucho más, pero la verdad es que las revistas sin referato (que existen) suelen publicar muy mal material. La Internet brinda un medio de publicar sin filtros previos, y están apareciendo cada vez más revistas electrónicas; el tiempo dirá si esto es una mejora o

no. Se suele acusar al sistema de referato de constituir una especie de censura previa, pero hay que verlo más bien como un filtro: el editor decide qué no publicar en la revista de su responsabilidad, pero el autor queda en libertad de intentar en otras, o de airear sus ideas en la Web. Las críticas son válidas, pero nadie ha inventado un sistema mejor.

Alguna vez he escuchado decir que un artículo presentado a una conferencia nacional (sin referato) vale más que uno publicado en una revista internacional seria. Según esta teoría, una de las ventajas de la primera opción es que no le regala conocimiento al Norte. Por supuesto que tenemos que usar nuestro idioma, pero a los proponentes de la teoría no los mueve el orgullo lingüístico. Como la copla infantil que dice que las buenas mozas se echan a perder, esto es un caso grave de uvas verdes. No le haga caso.

El sistema de publicación de los resultados le ha servido bien a la ciencia, pero les impone una gran carga extra a los científicos, que no solamente deben saber hacer ciencia, sino también escribir sobre ella. Así pues, la etapa final de un trabajo de investigación científica consiste en relatar lo que se ha logrado. A pesar de que la encaramos cuando ya está casi todo hecho, es para muchos de nosotros la más difícil y la que más postergamos. Con razón, pues, aparte de que justificar sobre el papel las hipótesis que uno ha usado no es tarea fácil, la mayoría de mis colegas tienen, como yo, pocas dotes para la literatura. Un factor extra dificulta esta labor: los científicos hemos desarrollado un lenguaje especialmente poco atractivo para relatar nuestros logros, tal como veremos en el capítulo sobre el tono usado (página 111).

De esto se trata: los informes que tiene que redactar son nuestra manera de prepararlo para el futuro. Si hay una forma amena y divertida de hacerlo, no la conozco; mientras tanto, en estas páginas trataré de explicarle qué le pide la cátedra, y cómo lograrlo.

1.2 El origen de estas reglas

Las reglas que discuto no las he inventado yo. La mayoría se pueden encontrar publicadas, por ejemplo, por el American Institute of Physics en su *Style Manual*[2], o en libros como *How to write and publish a scientific paper*, de Robert A. Day[3] y otros[4, 5, 6, 7, 8], con mayor extensión y detalle.

Esta recopilación está destinada a quienes necesitan instrucciones más cortas en castellano. La redacté originalmente para estudiantes universitarios de Física y de Ingeniería Nuclear que necesitaban una guía para redactar sus informes de laboratorio en el primer curso en el Instituto Balseiro de Bariloche. La preparación de informes periódicos de laboratorio es una de las tareas que más odian los estudiantes, pero como aprender a redactarlos en uno de esos formatos escolares que inventan las cátedras da tanto trabajo como hacerlo según las reglas de las mejores revistas del tema, lo mejor es comenzar ya con lo que se va a usar después en la vida profesional. Así, pues, en el Instituto Balseiro les enseñamos a nuestros estudiantes a presentar sus informes según las normas internacionales para artículos científicos.

No hay nada en estas reglas que las limite a la Física o a la Ingeniería Nuclear. Las han usado también profesores secundarios de Física que querían escribir comunicaciones para reuniones en su área, o que deseaban enseñarles a sus estudiantes cómo escribir sus informes. También han asistido con provecho a estudiantes de otras carreras, como Agronomía, Geología, Biología o Paleontología. En estas páginas se discuten preguntas de todos ellos. Como las reglas para escribir un artículo científico son básicamente las mismas para todas las ciencias, la discusión les sirve a todos. Solamente se presentan diferencias en detalles nimios: cómo referirse a las figuras, cómo citar trabajos publicados o libros. Tales detalles reflejan las preferencias de cada revista en particular, que las dan a conocer en las *Instrucciones para autores*.

Capítulo 2

El contenido del informe

El informe que usted va a escribir relata los resultados y enseñanzas de un experimento que ha llevado a cabo. Antes de empezar a escribir, tiene que tener sobre qué hacerlo. Como esto vale tanto para mí como para usted, he completado un experimento simple que servirá como ilustración.

2.1 El péndulo: un caso real como ilustración

Ilustraré este libro con un experimento simple de Física que hice yo mismo, y mostraré cómo fui escribiendo el informe, desde la concepción hasta la versión final. Mi experimento versa sobre cómo oscila un péndulo. Colgué una plomada de carpintero de una viga en el cielorraso del living de mi casa, y la hice oscilar, como puede ver en la Figura 2.1. Extrañamente, el tiempo que le lleva a un péndulo completar una oscilación (el *período*) es el mismo, se mueva poco o mucho. Si le hago trazar un vaivén mayor, se apura justo lo suficiente como para completarlo en el mismo tiempo. Notable. Y más notable todavía es que esta constancia del período se pueda explicar matemáticamente de forma muy simple, en lo que se

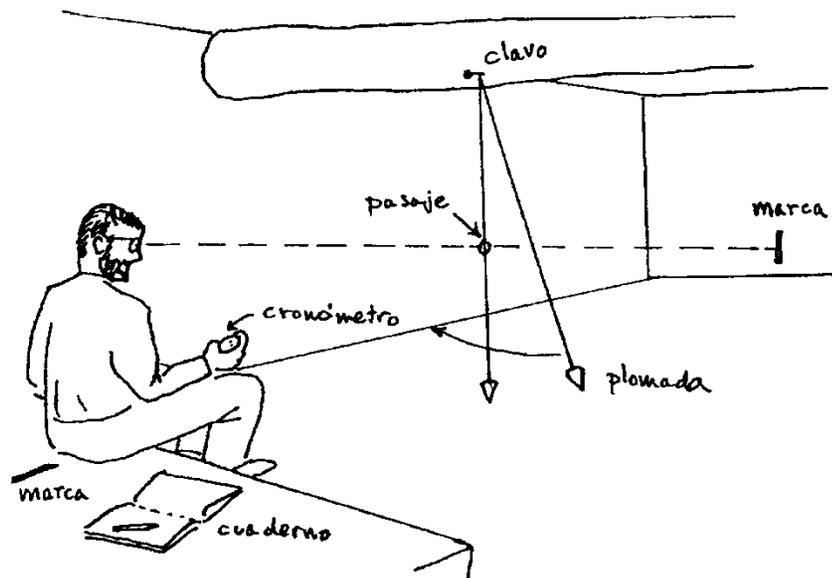


Figura 2.1: El péndulo, el cronómetro, el cuaderno y yo.

llama la “aproximación armónica”. Bueno, la verdad es que si la oscilación es muy grande, el péndulo se retrasa un poquito, pero nada que se note a simple vista. Este retraso se puede explicar teniendo en cuenta el primer término que uno desprecia al hacer la descripción matemática del péndulo, y se puede medir sin aparatos complicados, con un cronómetro. La explicación ingenua: “si tiene que recorrer más camino, es natural que tarde más tiempo” no explica lo que sucede; se pueden hacer péndulos que completen su oscilación en *menos* tiempo cuanto más amplia sea.

He aquí mi experimento: medí algunos períodos para amplitudes cada vez mayores. Comprobé que efectivamente aumentaban, y comparé el aumento con la teoría. Por las condiciones en que trabajé, sin ayuda y casi sin aparatos, el informe de estas medidas me pareció apropiado para ilustrar la estructura lógica que quiero discutir.

2.2 Las notas del trabajo

Cualquier experimento, aun el más simple en un curso en la escuela media, es tan complejo que no podemos mantener los detalles en la memoria. A eso hay que agregarle que muchos detalles que al principio parecen irrelevantes adquieren importancia al reflexionar más tarde sobre los resultados, sobre todo cuando no se comportan como esperábamos. La experiencia muestra que hay que ir documentando el trabajo por escrito. Por favor, no piense que esto es trivial: muy por el contrario, no es fácil hacerlo. Mi trabajo de años con estudiantes universitarios me muestra que es una habilidad clave, que se va adquiriendo con la práctica.

Cuando los principiantes preguntan qué hay que anotar, los veteranos contestan “Todo”, y les cuentan la anécdota del físico Ernest Rutherford, que, trabajando en Canadá, descubrió un isótopo del radón gracias a que anotaba cuándo abría y cerraba la puerta de su laboratorio. La anécdota está algo exagerada, en realidad el efecto se producía cuando ventilaba su laboratorio (antes de cada visita de su jefe: Rutherford era fumador empedernido y el jefe odiaba el tabaco), pero la moraleja se aplica. Nunca se sabe qué información puede ser útil. Pero no se puede apuntar todo; elegir qué anotar demanda un criterio que se va afinando con el tiempo, y en gran medida con los errores propios. Por eso no me gustan esas prácticas de laboratorio en las que hay que ir llenando casilleros de un formulario: tal vez entrenan la obediencia (creo que ni eso), pero el criterio seguro que no.

Como es difícil decir qué anotar, vamos a ocuparnos primero de la parte mecánica. *En qué* anotar sus investigaciones depende de la continuidad de su actividad científica. Si sólo quiere hacer unas medidas rápidas, use lo que tenga a mano. La primera vez que viajé al hemisferio Norte, como me habían dicho que ahí la fuerza de Coriolis hacía girar los remolinos al revés, durante varios días anoté en la última página de mi

libreta de direcciones si el agua al abandonar los inodoros y piletas giraba en sentido horario (+) o antihorario (-). Los más y los menos prácticamente se cancelaban: el hecho es que la influencia de la fuerza de Coriolis es despreciable en los remolinos chicos.

2.3 El cuaderno de laboratorio

Pero si sus mediciones tienen continuidad, en especial si son parte de un curso que pretende enseñarle a moverse en un laboratorio, entonces le conviene imitar a los profesionales, y usar un cuaderno especial dedicado solamente a documentar su actividad experimental, el *cuaderno de laboratorio*. Los científicos que trabajan al aire libre suelen usar para el mismo fin una *libreta de campo*, más pequeña, para llevarla en un bolsillo, y si es posible con páginas a prueba de lluvia. Son muy conocidas las libretas amarillas *All-Weather*, con papel *Rite in the Rain*. Hasta donde yo sé, los que quieren usar el producto real se lo traen de EE.UU.; en nuestro país no se fabrican cuadernos de laboratorio, por lo cual la mayoría de mis colegas los reemplazan con libros de actas de consorcio. Todos, cuadernos o libretas, nacionales o importados, tienen hojas fijas y foliadas, es decir, numeradas. No se usan cuadernos de espiral, porque no se arrancan páginas de un cuaderno de laboratorio. Tampoco se borra ni se raspa.

Ya le dije que los veteranos salen del paso aconsejando escribir todo en el cuaderno de laboratorio. Mi colega Oscar Martínez, profesor de Física de la UBA, se ha comprometido con diez consejos concretos, que conforman su

Decálogo del Cuaderno de Laboratorio

1. **Es un documento.** Correctamente utilizado tiene valor documental legal. Puede utilizarse para reclamar autoría de una idea e incluso derechos de patentes. Para ello

debe tener fechas, sin raspaduras ni espacios en blanco, sin inserciones y, en lo posible, firmado por testigos.

2. **Es personal.** Puede haber otros cuadernos de uso compartido, por equipo o instrumento, por laboratorio, etc., donde se anota información de uso general, como cambios introducidos, o estado de conservación. Pero el cuaderno de laboratorio contiene ideas, propuestas y maneras de volcar la información que son personales (cada individuo tiene su manera de ver, enfocar y anotar).
3. **Las páginas deben ir numeradas.** Esto permite hacer referencia sencilla a anotaciones anteriores, así como indicar al margen dónde se corrigen los errores.
4. **Es un registro de anotación secuencial.** No deben intercalarse resultados ni corregirse lo escrito. En caso de detectarse un error, se anota al margen el error detectado y la página en que se corrige. Esto permite saber si el error se puede volver a encontrar y a partir de qué datos está corregido. Por este mismo motivo, no debe escribirse en lápiz.
5. **Las fórmulas y las figuras deben tener una numeración consistente e interna.** Un ejemplo práctico es numerar correlativamente todas las fórmulas dentro de cada página u hoja y citarlas por página-fórmula. Es importante numerar todas las fórmulas pues no sabemos en el futuro cuál necesitaremos citar.
6. **Referencias completas.** Si se hace una referencia externa (guía de trabajos prácticos, *paper*, libro, etc.), esta referencia debe estar completa. Si una referencia es citada con frecuencia, puede usarse la última página para anotarla y citarla por número. Cuando citamos algo siempre creemos que nos vamos a acordar de dónde salió, pero esto tiene validez a corto plazo.

7. **Se deben escribir todos los resultados**, indicando la mayor información posible del experimento. Todas las condiciones experimentales deben anotarse y se deben hacer diagramas claros indicando además cada vez que hay un cambio. Un dato que hoy parece irrelevante, en función de nuestro modelo de la realidad, puede resultar vital al descubrir que nuestras ideas estaban equivocadas o eran incompletas. La falta de un dato de apariencia menor puede invalidar todo lo realizado.
8. **Debe escribirse el plan**. Qué es lo que se puede medir, qué es lo que se busca y las consideraciones que se hicieron para llegar al experimento. La planificación del experimento y las ideas en juego deben ser explícitas. La anotación secuencial permite seguir la evolución de las ideas, dato vital además para interpretar los resultados, pues los prejuicios condicionan lo que uno mide y cómo. Saber qué pensaba uno en el momento de medir nos indica si a esta altura tuvimos una determinada precaución que después resultó ser vital.
9. **Deben escribirse las conclusiones**. Vale lo mismo que para la planificación del experimento.
10. **Hacer una puesta a cero periódica**. Si una idea ha evolucionado desde el comienzo, conviene cada tanto hacer un cuadro de situación, pasando en limpio lo actuado, de manera de no tener que reconstruir la historia cada vez.

Al releer esto, estoy hojeando con vergüenza mi propio cuaderno de laboratorio y las notas tan pobres que tomé en el experimento del péndulo. Es que mi propio trabajo dista de ser ejemplar, y tampoco lo es el de la mayoría de mis colegas. En efecto, este decálogo no se cumple más que el otro. En un laboratorio es común guardar los cuadernos de miembros que

ya no trabajan en él, y, a veces, le toca a uno revisarlos para rehacer o controlar algo. Es una tarea odiosa, pues si bien algunos pocos son manuales claros y precisos que permiten seguir los pasos del autor sin ninguna duda, la mayoría son crípticos o decididamente confusos. Usted trate de ser lo más claro posible, y es mejor que le sobren notas. Tenga presente que siempre le van a faltar detalles, y que sólo los va a echar de menos cuando esté escribiendo su informe, así que empiece a escribir el informe cuanto antes. Explicar algo es la mejor manera de entender lo que uno todavía no ve bien.

2.4 El enfoque y el público de la historia

Usted ya ha terminado su trabajo experimental, cuenta con notas detalladas de lo que ha hecho y encontrado, y piensa que lo entiende. Ahora sólo le falta relatarlo.

El trabajo de escribir un informe empieza antes de sentarse frente a la PC. Aquí estoy suponiendo que usted va a usar una PC para redactar su trabajo. También puede hacerlo a máquina, o a mano, pero una PC facilita tanto el trabajo indispensable de corrección que vale la pena conseguir una. Esta preparación previa es muy importante para asegurar un producto final lógico y legible. Haga por lo menos lo que detallo a continuación.

1. Analice el problema. Plantéese estas cinco preguntas, aunque no sea en este orden:

Espacio ¿De cuánto espacio dispongo?

Información ¿Qué información quiero presentar en este informe?

Público ¿Para qué grupo de lectores estoy escribiendo?

Información previa ¿Qué información previa poseen tales lectores?

Estrategia ¿Cuál es la manera más lógica de presentarles a los lectores de este público tal información en ese espacio?

Al responder a estas preguntas usted decidirá qué tipo de texto va a escribir. Un mismo tema puede ser presentado, como en el caso que estamos tratando ahora, por un estudiante en un informe de laboratorio a docentes que están más interesados en el progreso personal del autor que en el tema en sí; pero también podría estar dirigido a colegas familiarizados con el mismo campo si va a una revista especializada, a colegas de otros campos si se envía a una revista como *Nature* o *Physical Review Letters*, a una audiencia culta pero no técnicamente informada si va a una publicación como *Ciencia Hoy*, o a un público de legos si se manda al diario local. Cada una de estas alternativas exige un nivel y lenguaje especial. En cuanto a las reglas de organización que trataré en la mayor parte de este libro, se aplican a informes de laboratorio, que son muy parecidos a las comunicaciones científicas formales, y no a los escritos de divulgación, como los dos últimos casos.

La restricción del espacio disponible es fundamental. Al comenzar el curso pregúntele a los docentes qué extensión esperan para su informe. En nuestros cursos la respuesta es “del orden de 10 páginas”. “Del orden de” significa que no difiera más que en un factor dos: cualquier cosa entre cinco y 20 páginas está bien, menos hay que justificarlo, más casi nunca se da. Escriba lo necesario para explicar sus acciones y conclusiones, y no trate de inflar el texto.

2. Escriba un esbozo detallado, que le servirá como guía

para escribir el informe. Hágalo al comienzo, aunque después lo cambie.

3. Planee sus tiempos. Normalmente los informes de laboratorio tienen un plazo de entrega. Siempre me asombra ver cuánta gente no llega a presentarlos a tiempo, aun en un entorno tan estricto como mi instituto. Mis colegas dicen que hacer algo demora π veces más que lo planeado. No les creo a los decimales, pero tenga en cuenta que escribir el informe le va a llevar al menos tres veces más de lo que cree. Va a tener que corregirlo y reescribirlo varias veces.
4. Planee las tablas e ilustraciones. Los gráficos tienen un gran peso en un artículo científico, y es una buena idea organizar su artículo en base a los gráficos que va a presentar en él. En la práctica, pegue sobre una pared o pizarrón los gráficos o dibujos que muestren de la manera más clara y convincente sus procedimientos y resultados, y luego idee una charla para acompañar a un visitante en una gira guiada de esa exposición. No basta con imaginarse que uno hace esto; hay que hacerlo. Entonces verá que hay maneras mejores (reordene los gráficos), que hay lagunas conceptuales (agregue gráficos), meandros inútiles (suprima los redundantes), y que tal vez debería haber medido otras cosas. De hecho, ésta es una manera de organizar una buena conferencia, y también es efectiva para una producción escrita.

2.5 El ejemplo del péndulo

Veamos cómo se aplican estos consejos al caso real del péndulo. Primero las cuatro preguntas básicas, el **análisis del problema**, pero en un orden algo distinto.

Público A mi edad ya no puedo escribir un informe como un estudiante de primer año, y no me gustaría fingir el tono. Pero sí puedo escribir naturalmente, si lo dirijo a estudiantes del profesorado en Física, un grupo con el que he trabajado a menudo. La elección del público representa una dificultad para los estudiantes, y aquí es donde se equivoca la mayoría. El público ideal para su informe son compañeros de su misma edad e igual preparación que no cursan esta materia; apunte el trabajo a ellos, es decir, a un público que comparte su formación e intereses, pero que no sabe lo que usted va a contarles. Sobre todo, **no escriba para la cátedra**. No hay nada peor que contarle un chiste a alguien que sabemos que ya lo ha oído.

Información La información a transmitir depende del público. Voy a contar cómo se alarga el período del péndulo y por qué, y cómo se mide con instrumentos baratos. El público determina también un tipo de información algo más sutil, en general a través del tono que se usa. Aquí voy a acentuar una actitud que me gustaría fomentar entre los estudiantes de profesorado: que se puede medir solo, en casa, sin ayuda. Como éstos son temas que afligen diariamente a los profesores, resultan lícitos en mi enfoque. Tal vez sería mejor que usted no tocara aspectos emotivos en su informe y se atuviese al tono impersonal de la ciencia.

Información previa Los estudiantes de profesorado ven un curso de Mecánica Elemental y uno de Análisis Matemático de una variable, que es todo lo que usaré. Todos han estudiado cómo se comporta un péndulo simple, pero no creo que hayan discutido lo que quiero contarles. Ésta es una cuestión que normalmente no le debería preocupar a un estudiante que planea escribir un informe, ya que se está moviendo con un grupo de formación

homogénea, y sus docentes saben (o deberían saber) más que él.

Estrategia La historia es razonablemente simple, usaré la manera convencional, que vamos a ver más adelante.

Esbozo detallado Yo lo tuve en la cabeza (y lo cambié varias veces), pero usted tal vez debería escribirlo.

Tablas e ilustraciones Éstas sí las hice y les di vueltas una y otra vez. Las discuto en detalle en el capítulo siguiente.

Capítulo 3

Tablas y gráficos

Las tablas y los gráficos son dos elementos que merecen un tratamiento aparte del texto del informe. Esto se debe a razones prácticas: mientras que el texto es como el trazo unidimensional de un pincel con el que uno puede ir cubriendo el espacio vacío de la página, y saltar a la próxima cuando quiera, tanto las tablas como los gráficos son cuadros ya enmarcados, construcciones bidimensionales que hay que situar *enteras* en la página. Es verdad que algunas tablas se pueden cortar para seguir las en la página siguiente, pero son la excepción; los gráficos no admiten cortes.

Las tablas y gráficos son elementos tan característicos de la literatura científica que su simple presencia imparte una cierta credibilidad a un escrito. Por ejemplo, Michael Crichton los usó para aumentar la credibilidad de su novela de ciencia ficción *La amenaza de Andrómeda*[9]. Por esa misma razón, a veces se abusa de ellos, tal vez para darle un sabor más científico al informe.

El uso de tablas y gráficos es distinto. Las tablas se usan para presentar valores numéricos con *precisión*; los gráficos sirven para mostrar muchos valores, dejando de lado la precisión y resaltando las *tendencias*. Su diferencia hace que sea mejor tratarlos por separado.

3.1 Las tablas

Las tablas se usan para dar números con precisión. Si sólo quiere dar un par de números no necesita una tabla, inclúyalos en el texto. Tome estos dos valores, por ejemplo: la velocidad de la luz y la constante de Planck son $c = 2,997925 \times 10^8 \text{ m/s}$ y $k_B = 1,380658 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Una tabla sólo para estos dos valores resultaría pretenciosa:

magnitud	valor
velocidad de la luz (m/s)	$2,997925 \times 10^8$
constante de Planck (J/K)	$1,380658 \times 10^{-23}$

Tabla 3.1: Valores aceptados para la velocidad de la luz y la constante de Planck.

Sin embargo, este ejemplo que no debería ser, ya alcanza para mostrar algunos elementos de rigor en una tabla. Dado que leemos de izquierda a derecha, una tabla debería presentar la información según tal expectativa, con el valor de cada magnitud a su derecha. La misma tabla transpuesta, aunque contenga exactamente la misma información, nos resultaría ridícula y difícil de leer, con los valores numéricos escondidos bajo la panza de las magnitudes.

Las columnas deben estar rotuladas, las unidades deben quedar claras, o adosándolas a los valores: $2,997925 \times 10^8 \text{ m/s}$, o aclarándolas entre paréntesis siguiendo al nombre de la magnitud, como en los casos de arriba. La segunda opción suele ser más fácil en la práctica, pues implica escribir las unidades en columnas donde ya hay letras, y deja las columnas de valores con cifras solamente.

Las líneas verticales y horizontales que separan las columnas y filas no son obligatorias. Algunas ayudan a leer la información, demasiadas cansan. Las líneas horizontales en la tabla de arriba siguen el uso del *American Institute of Physics*.

Su manual de referencia[10] no separa las columnas con líneas verticales:

Si, como es usual en un informe, las tablas llevan un pie aclaratorio, no se las titula. Las tablas (y gráficos) que se preparan para una exposición oral difieren de las que van a ilustrar un informe. En la exposición oral, donde se muestran usando un retroproyector o un proyector de imágenes de computadora, como no llevan pie, necesitan un título explicativo. Pero el medio distinto determina que este título no sea simplemente una reproducción del pie. Un informe se lee y se relea con un lápiz en la mano. Por eso, normalmente el pie en un informe enuncia lo que se muestra, y deja que el lector saque sus propias conclusiones basándose en la evidencia frente a sus ojos. En la presentación, como el texto aparece durante unos momentos y desaparece, el título tiende a explicar las conclusiones. En otras palabras, mientras el pie en un informe dice qué es lo que se muestra, el título en una presentación explica qué significa.

Volviendo a las tablas, se imponen para una sucesión de más de cuatro o cinco números, que ya resultaría cansadora en un texto corrido. Un ejemplo son las tablas de constantes físicas que traen todos los libros de texto de física.

Tenga cuidado con las tablas que muestren una columna entera compuesta de un solo valor: esa variable es una condición y no necesita ser tabulada.

Las tablas pueden contener valores clave en un informe. Por eso, resérvelas para lo importante y no las use para mostrar todas las medidas que tiene. Ésa es una práctica escolar. Por supuesto que todas las medidas tienen que poderse encontrar, preferentemente bien tabuladas, en su cuaderno de laboratorio o libreta de campo, o, cada vez más, en sus disquettes o en el disco rígido de la PC del laboratorio. Pero un informe, como un artículo científico, no es una repetición en limpio de las medidas: es un destilado, donde se relatan conclusiones, apoyadas en ejemplos. Por lo tanto, usted debería

presentar ejemplos o conclusiones, tal vez en forma de tablas.

Decida si sus valores quedan mejor representados en una tabla o en un gráfico, y trate de no usar las dos formas en el mismo informe, a no ser que tenga muy buenas razones.

En el caso del péndulo usé una sola tabla pequeña que da la duración total de series de N oscilaciones de diversas amplitudes:

amplitud (grados)		N	duración (s)	período τ (s)
inicial	final			
2	2	101	290,72±0,1	2,878±0,001
2	2	100	287,84±0,1	2,878±0,001
7	7	20	57,607±0,086	2,880±0,005
33	25	20	58,81±0,2	2,94±0,01
56	35	20	59,56±0,2	2,98±0,01
66	42	20	60,73±0,2	3,04±0,01

Como explico en el capítulo sobre los *Resultados* (en la página 65), no cumplí mi propio consejo, y representé esos valores también en un gráfico. Mis razones eran válidas, tal como verá. Además, quiero ilustrar qué flexibles son todas estas reglas y cómo hay que romperlas cuando convenga hacerlo.

3.2 Los gráficos

Como las tablas, los gráficos son tan característicos de la literatura técnica que a veces se los usa sólo como adornos que confieren un aroma científico. No debería ser así, pues los gráficos, si están bien concebidos y correctamente dibujados, son verdaderas “herramientas para razonar”, al decir de Edward Tufte, un estadístico de la universidad de Yale. Su libro *The visual display of quantitative information*[11] es la mejor fuente que conozco sobre el arte de confeccionar gráficos inteligentes y útiles.

En su libro, Tufte plantea los principales requerimientos con que debe cumplir la información gráfica veraz. Según él, los buenos gráficos deben:

- mostrar los datos;
- inducir al usuario a pensar en la sustancia y no en la metodología o el diseño gráfico;
- evitar cualquier distorsión de lo que dicen los datos;
- presentar muchos números en un espacio reducido;
- dar coherencia a conjuntos grandes de datos;
- permitir que el ojo compare distintos datos;
- revelar los datos a distintos niveles de detalle;
- servir a un propósito claro: descripción, exploración o tabulación;
- estar integrados con las descripciones estadística y verbal del conjunto de datos.

Con *gráficos* aquí entiendo mapas, fotografías, radiografías, esquemas, dibujos, planos, así como distintos tipos de gráficos estadísticos o científicos. En un informe hay que seguir la costumbre general y referirse a todos ellos como “figura”. La manera en que cada publicación prefiere referirse a las figuras se puede encontrar en las *Instrucciones para autores*; averigüe qué le gusta a su cátedra. Las más comunes son “Figura 12” y “Fig. 12”; la mayúscula indica que no se está refiriendo a una figura cualquiera, sino a un elemento gráfico definido del informe. La expresión abreviada “Fig. 12” no es una versión apurada de “Figura 12”: es una convención de la revista (o cátedra), por lo cual se debe usar siempre una o la otra.

No importa qué es lo que haya dentro de la Figura 12, rótulela y refiérase a ella siempre así, Figura 12 (o Fig. 12).

Si usted quiere discutir una fotografía, no se refiera a la Fotografía 12, sino a “la fotografía de la Figura 12. . .”. Las figuras llevan siempre un *pie*, una breve nota explicatoria independiente del texto (pero coherente con él).

Como los gráficos son herramientas para razonar, usted debería usarlos en todas las etapas de su trabajo. En Física una de las habilidades que distinguen a los expertos de los aprendices es el dibujar, el representar relaciones de manera gráfica. Sospecho que también es valiosa en otras disciplinas, así que, cuanto antes se apropie de esta capacidad, mejor.

3.2.1 Gráficos a mano alzada

Aunque hoy contamos con programas de graficación científica que nos facilitan enormemente el dibujo, le conviene dibujar a mano mientras trabaja. La capacidad de dibujar gráficos elocuentes a mano, sin ayuda de aparatos, es muy útil para convencer a colegas en una discusión, para ilustrar una clase o una respuesta en una conferencia, y, principalmente, para razonar con uno mismo.

Así pues, dibuje gráficos de todo lo que se le ocurra. Si los entiende usted mismo, inclúyalos en su cuaderno de laboratorio. Estos gráficos le servirán para responderse algunas preguntas clave en su investigación experimental[12]. Por ejemplo, cómo afecta un cambio en una variable a otra. Nada muestra esta clase de tendencia mejor que un gráfico. La pregunta que siempre hacen los alumnos, si ya han medido suficientes datos, la puede contestar un gráfico mejor que el profesor. El propio gráfico debería mostrar con claridad si los puntos sostienen a una curva (o sea, un modelo) de manera convincente. Otra utilidad del gráfico es identificar regiones que merezcan un análisis más detallado. Cualquier variación en la tendencia general puede deberse a errores experimentales, o a un efecto genuino que vale la pena investigar.

Cuando dibuje sus gráficos a mano alzada, preste atención a estos puntos:

- Piense en qué le conviene graficar. No necesita graficar las mismas variables que mide; tal vez otras variables pueden contar la historia mejor.
- Haga dibujos grandes, de media página al menos.
- Aproveche el papel para decir algo. Las zonas en blanco no le ayudan a ver el mensaje. Si representa una variable que va de 101 hasta 123, use un eje que va de 100 hasta 125; si define un eje de 0 a 130, estará desperdiciando el 80% de su papel.
- Rotule los ejes con el nombre de las variables y sus unidades.
- Use las unidades que le resulten cómodas y adecuadas a la situación. No he visto a nadie en el laboratorio que use el sistema MKS consistentemente, o que se preocupe por el tema.
- Dibuje los puntos experimentales de manera generosa, con círculos, cruces u otros símbolos que le gusten, pero grandes. No use pequeños puntitos marcados con la punta del lápiz, porque se pierden, no gritan su mensaje.
- Trate de aprender a localizar los puntos directamente sobre el gráfico, sin tener que marcar las coordenadas de cada uno sobre los ejes; esto torna muy lento todo el proceso.
- No se preocupe por las barras de error.
- Agregue todas las anotaciones que le parezcan necesarias.

- No una los puntos experimentales con líneas, como hacen las enfermeras o los economistas. Las líneas se usan para graficar una ley que permita interpolar (o extrapolar, con mucho mayor riesgo).

3.2.2 Gráficos finales

En la etapa de elaboración del informe se necesitan gráficos más presentables, y hoy en día los confeccionamos con un programa de graficación científica. En esta etapa le pueden servir algunos consejos generales:

- Decida qué unidades va a usar (probablemente su cátedra insista en el sistema MKS, y tiene razón, aunque no nos guste), y atégase a ellas en todo el informe.
- No deje que el programa decida cómo dividir los ejes, hágalo usted mismo. Sucede que los seres humanos preferimos los números redondos, como 1, 2, 3; mientras que a las computadoras les da lo mismo cualquier número y son capaces de marcar divisiones de un eje en 0,98, 1,96, 2,94. Un gráfico presentado así alcanza para enfurecer a un profesor.
- No necesita titular los gráficos si, como es usual en un informe, llevan un pie, generalmente abajo.
- Si dibuja histogramas, use alrededor de una docena de barras.
- No use gráficos de torta o similares, déjelos para los periodistas o los economistas.
- Para codificar información no use colores, sino distintos símbolos o tipos de línea. El color se pierde en las fotocopias.

3.2.3 En el ejemplo del péndulo

Estos puntos quedan ilustrados por los gráficos que dibujé cuando estaba midiendo el período de mi péndulo.

En la Figura 3.1 se ve un gráfico de la información contenida en la tabla de la sección anterior: período en función de la amplitud de la oscilación. En realidad lo dibujé sobre papel cuadriculado; en esta reproducción he borrado las líneas para aclarar la figura. Como cada medida es un suceso prolongado, una serie de oscilaciones que van disminuyendo en amplitud, a cada período promedio le he asignado un rango de valores de amplitud, en una línea horizontal que va de la amplitud inicial (marcada por una X) hasta la amplitud final aproximada. En el medio de ese rango he marcado con un círculo lleno el valor medio de la amplitud.

Sobre este gráfico he dibujado una curva de trazos a mano alzada (bastante mala) que pareciera ser la tendencia detrás de los puntos. Me da la impresión de que esa tendencia es cóncava, pero con las incertezas que tengo no pondría la mano en el fuego.

Hay una manera mejor de graficar estos mismos valores. Consiste en cambiar de variables de forma que los puntos caigan sobre una recta. Los gráficos que muestran rectas son muy convincentes cuando se quiere demostrar una tendencia. Esto se debe a que la recta es la única curva que todos podemos reconocer y comprobar a simple vista. Para hacerlo hay que levantar el gráfico acostado a la altura de los ojos y mirar *a lo largo de los puntos*. Si se alinean (dentro del error experimental, nunca lo hacen exactamente), están sobre una recta. De esta manera cualquier desviación sistemática salta a los ojos, hasta aquellas tan pequeñas que pasarían desapercibidas al mirar el gráfico de frente, como un cuadro.

Por esta razón representar las amplitudes directamente sobre el eje horizontal no es muy útil: el tipo de gráfico de la Figura 3.1 es en esencia un adorno, ya que sólo se lo puede

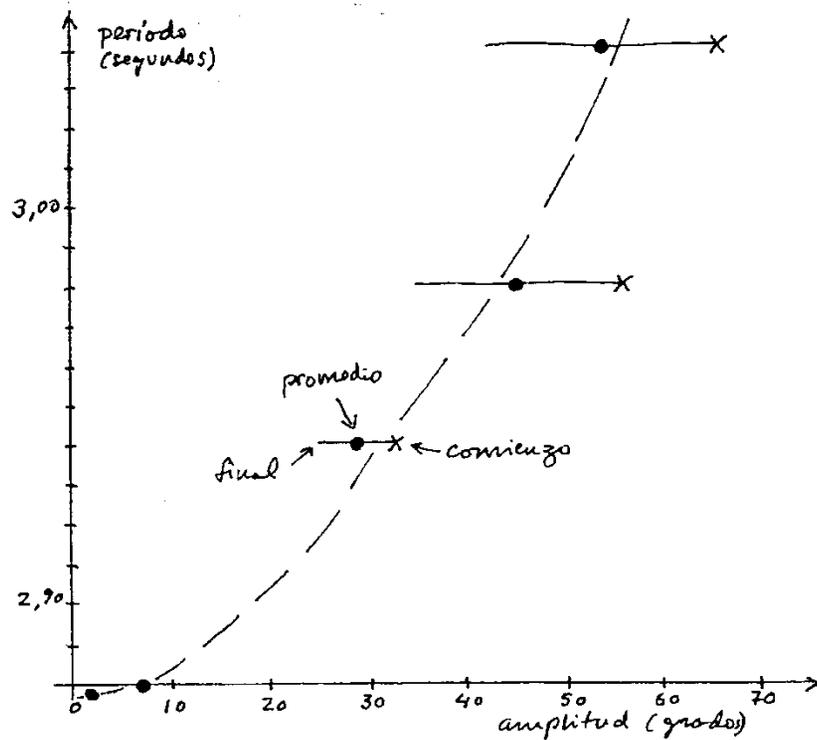


Figura 3.1: Gráfico a mano alzada del período del péndulo para distintas amplitudes de oscilación. Las líneas horizontales representan la amplitud decreciente en cada serie de 20 oscilaciones.

mirar como un cuadro, de afuera. El lector está obligado a creer lo que le diga el autor.

En la Figura 3.2 he introducido dos cambios importantes. En el eje de las abscisas no he representado simplemente la amplitud, sino la cuarta parte del cuadrado del seno de la amplitud sobre dos. Por el otro lado, en el eje de las ordenadas he representado el cambio *relativo* del período. De esta forma, el gráfico se aplica a cualquier péndulo, sea cual sea su período. Esta normalización tan sencilla me da un gráfico universal. Si la dependencia teórica que discuto en el informe es cierta, el primer cambio de variables debería ordenar los puntos sobre

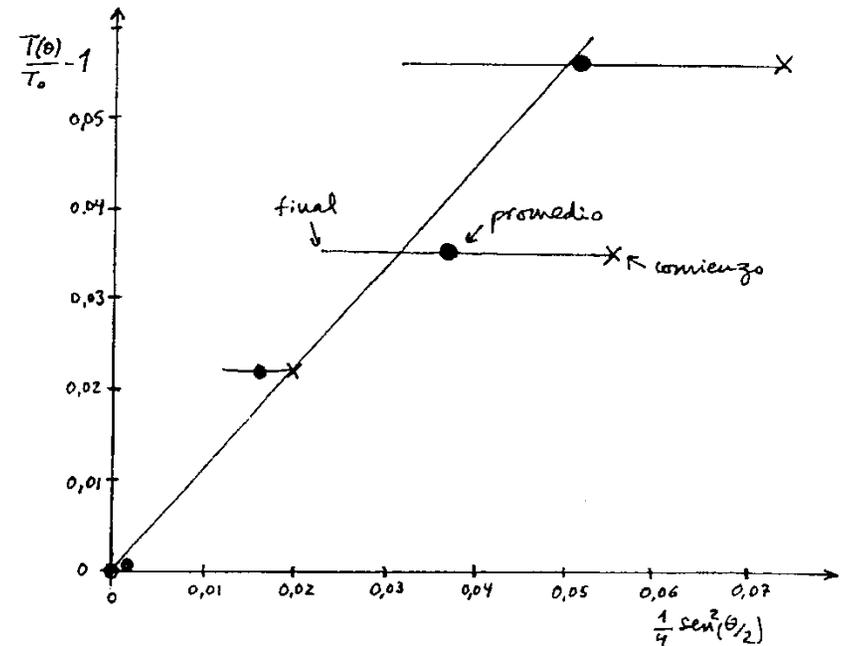


Figura 3.2: Gráfico a mano alzada de la variación normalizada del período en función del cuadrado del seno de la semiamplitud. Las líneas horizontales representan la amplitud decreciente en cada serie de 20 oscilaciones.

una recta. He trazado una recta a ojo, usando una regla, y a mí me parece que los círculos, por lo menos, están bastante mejor alineados que en el gráfico anterior. He seguido usando papel cuadriculado, pero ahora ya acudí a mi calculadora para los cuadrados de los senos.

En estos gráficos tempranos la notación para el período y la amplitud ($T(\theta)$ y θ) es distinta que la usada más adelante ($\tau(\alpha_{max})$ y α_{max}). En la discusión sobre la *Introducción* explico por qué cambié de notación sobre la marcha.

No siempre se puede lograr esta disposición lineal de los datos, y muchas veces lo que se quiere mostrar es otra cosa: una caída a cero de una magnitud, un quiebre sistemático en

su comportamiento, una variación periódica. Pero, de cualquier manera, tenga en cuenta que en ciertas ocasiones un cambio de variables, unas veces muy simple, como aquí, otras de un ingenio sorprendente, puede ayudar a ver mejor lo que sucede. Por ejemplo, el calor específico de un metal depende de la temperatura T de una forma compleja, $C(T) = \gamma T + BT^3$. El primer término proviene de la sopa de electrones, el segundo de las vibraciones de los iones. Los solidistas representan $C(T)/T$ en función de T^2 , con lo cual obtienen una recta cuyos parámetros separan netamente los dos mecanismos físicos: la ordenada al origen es la contribución electrónica y la pendiente, la iónica.

Así que, siempre que pueda, trate de usar variables que muestren las tendencias que quiere resaltar como rectas, para exponer sus datos a un escrutinio independiente. Esta disposición a permitirle al interlocutor que saque sus propias conclusiones es una de las actitudes más positivas que caracterizan al discurso científico.

Un comentario sobre procedimientos. Como dije arriba, la recta que he dibujado en esta figura está trazada a ojo, usando una regla. Conviene usar una regla de plástico transparente, para ver todos los puntos al tiempo de trazarla (si no es transparente, póngala de canto cuando elige el trazado). En esta época de computadoras baratas, tendemos a despreciar estos métodos manuales. De hecho, las rectas trazadas a ojo son sorprendentemente precisas. Grupos de novicios en el ajuste de datos, sin ninguna noción de los criterios de optimización cuadrática que juzgamos imprescindibles, obtienen resultados para la pendiente de una recta que no varían en más de un cinco por ciento.

Me pareció que la Figura 3.2 relataba mi historia de manera convincente, así que ahí, en esa figura, en esencia estaba mi informe. Todo el resto es charla para justificar la aparición de este gráfico y hacerlo creíble.

Para graficar usé un programa muy flexible, que no sólo produce gráficos de calidad profesional, sino que permite combinar y analizar los datos. Existen varios recomendables, pero aquí no puedo mencionar marcas comerciales. En esta etapa se presentó un problema que usted también puede llegar a enfrentar: el programa de graficación no contaba con algunos de los signos que yo quería usar para designar las variables. En este caso, lo más simple es usar lo que tiene el programa, y rebautizar las variables.

En el capítulo de *Resultados* (página 65, o en la versión final del informe) puede ver cómo quedó la Figura 3.2 definitiva. Este gráfico no sólo es más prolijo que su antecesor a mano alzada, sino que también lleva más información. La recta que se ajusta a los puntos experimentales en el gráfico ya no está trazada a ojo, sino por el método llamado de “cuadrados mínimos” [13]. Usted verá que los gráficos finales tienen un marco alrededor. Ese marco no es estrictamente necesario, por lo cual Tufte tal vez lo calificaría como “basura gráfica”, tinta que no transmite información. Sin embargo, este marco parece estar de moda entre los físicos actualmente.

Recuerde que no existe ningún programa que pueda decir qué curva se ajusta a un conjunto de datos. Somos los usuarios los que decidimos qué clase de curva queremos, y el programa calcula ciertos parámetros que la determinan, de forma que el conjunto de datos resulte lo más verosímil posible. El *tipo* de curva está determinado por nuestro modelo de la situación. Cuando uno carece de modelos recurre a ajustes puramente numéricos. Los programas de graficación ofrecen un menú muy surtido de expresiones para ajustar curvas. Trate de no usarlos, porque pueden dar cualquier resultado.

En el caso presente, decidí que quería una recta —ya que no tenía razones físicas para hilar más fino—, y que quería que pasara por el punto inicial —ya que ese punto no tenía error (o era muy pequeño).

Como una idea secundaria, y para responder a una pregunta que he oído muchas veces en boca de docentes, agregué un ábaco, un gráfico con tres curvas que indican hasta qué amplitud máxima se justifica suponer que el período es constante, en función de la precisión con que se mida. Puede verlo en el capítulo sobre la *Discusión*, página 75.

Finalmente, cuando un colega leyó una versión del informe, me objetó que no podía entender cómo era el nudo que había usado para colgar la plomada, ni cómo medí dónde estaba su centro de masa (capítulo sobre *Métodos*, página 53). Traté de reescribirlo con mayor claridad, pensando en aquellas instrucciones para subir una escalera de Cortázar, pero al final me resigné a incluir un dibujo con esta información. Cuando hay que explicar aparatos, los esquemas son mejores que los dibujos realistas, y los dibujos son mejores que las fotografías. No use fotografías si puede evitarlo. Claramente, esta clase de dibujo es un accesorio, sin la importancia lógica de la Figura 3.2. Hoy en día estos dibujos se hacen con computadora, pero yo soy un nostálgico de aquellas ilustraciones de aparatos de Roger Hayward en *Técnicas de Física Experimental*[14].

Capítulo 4

La forma del informe

4.1 Las instrucciones a los autores

Los pasos que expliqué arriba son importantes para la organización lógica del contenido del informe. Ahora tiene que preocuparse por la forma. Si usted es un estudiante, averigüe cómo quiere la cátedra que presente sus informes. Si a la cátedra le da lo mismo, trate de escribirlo como si fuera un artículo de investigación. No es más difícil aprender esto que ese estilo escolar que se suele usar para informes de laboratorio, y la práctica que adquiriera tratando de imitar lo que aparece en *Nature* le será mucho más útil que la ciencia añeja que está tratando de reproducir.

Los autores de un artículo se encuentran con que cada revista insiste en ciertas convenciones de presentación de los trabajos, por lo cual les conviene conocer estas pequeñas idiosincrasias antes de empezar a escribir. Para ello, buscan en la revista que le interesa las *Instrucciones para los autores*. Suelen aparecer en el retiro de tapa, o en algún otro lugar destacado, al menos una vez al año, generalmente en el primer número del año calendario. Lo más práctico es buscarlas en la Internet. Por ejemplo, las de *Nature* llevan el título *Nature Guide to Authors*, y cubren desde cómo deben estar

escritos los manuscritos (“clara y simplemente de manera que sean accesibles a lectores en otras disciplinas y a lectores para los cuales el inglés no es el primer idioma...”) hasta cómo dibujar y rotular las figuras. Las conferencias producen una circular diciendo cómo quieren los artículos. Fotocopie esas instrucciones y péguelas en la pared frente a su escritorio.

Un consejo útil: si usted es estudiante, vaya a la biblioteca de su facultad y pida algún ejemplar extra de la revista más prestigiosa en su campo, por ejemplo, de *Nature*, del *Journal of Vertebrate Paleontology* o del *Physical Review*. La biblioteca siempre tiene algunos ejemplares que llegaron de más, y a ellos no les sirven para nada. Use ese ejemplar como modelo, estudie cómo escriben los profesionales y copie o adapte todo lo que le guste. Si su biblioteca no tiene ejemplares para darle, pídale copias de artículos originales a sus profesores. Si tiene referencias de artículos originales, pídale copias a sus autores (vea la página 90).

Ahora ya está en condiciones de empezar a escribir. Complete el primer borrador rápido, en una sola sentada si el artículo es corto. No se preocupe por la elegancia ni la sintaxis, más tarde puede (debe) corregir lo que quiera.

4.2 El sistema IMRD

La costumbre de los últimos 300 años ha ido estableciendo una estructura especial para los artículos científicos, que se ha hecho prácticamente universal en los últimos 70 años. No hay ninguna reglamentación que nos obligue a usarla, pero si alguien escribe un artículo según otro plan, que bien podría ser mucho mejor, les resultará raro a quienes deban juzgarlo, y podrían rechazarlo por ese motivo. Mis colegas, como las ratas, no comen lo que no conocen.

Además de ser convencional, la organización de un artículo científico es eminentemente lógica. Un artículo responde a

cuatro preguntas fundamentales, en general en este orden:

¿**Cuál es el problema tratado?** La respuesta a esta pregunta va en la **Introducción**;

¿**Cómo lo estudió?** La respuesta está en la sección de **Métodos y materiales**;

¿**Qué encontró?** Esto va en los **Resultados**; y

¿**Qué quieren decir estos resultados?** La respuesta va en la **Discusión**.

A esta organización se la llama IMRD (Introducción, Métodos, Resultados, Discusión); recuerde estas iniciales. He visto que algunos autores añaden una sección de “Análisis” entre los Resultados y la Discusión. Como no puedo ver qué hay en el análisis que no pueda englobarse en algo tan general como una discusión, creo que lo hacen simplemente para obtener una sigla más fácil de pronunciar, IMRAD.

Por supuesto, las secciones bien pueden titularse de otra manera. La Introducción en general se llama así, pero puede ir bajo títulos como “Sobre el análisis dimensional”, “Material de fondo”, o cualquier otro. Los Resultados pueden bien llamarse “Experimento”, bien “Experimento y análisis de una red mecánica”, y así por el estilo. Además, cada sección lógica puede estar dividida en varias subsecciones; por ejemplo, si en un artículo se compararan varios métodos distintos, tanto la sección de Métodos como la de Resultados podrían estar divididas en subsecciones correspondientes a cada uno de ellos.

A veces el artículo ni siquiera está seccionado formalmente. Por ejemplo, una *Brief communication* en la revista *Nature* o un artículo en el *Physical Review Letters* es una *carta*, por lo cual consta de un cuerpo que no está dividido en secciones. Lo mismo pasa con los *Brief Reports* y las *Rapid Communications* del *Physical Review*.

Pero aunque en estas cartas cortas no se marquen las divisiones, el orden de presentación, el orden retórico (no vaya a creer que es el orden cronológico de la investigación), que avanza desde la exposición del problema a los resultados y la discusión de su relevancia, es el que he enunciado arriba. Reitero que este orden estricto les resulta tan conveniente a los referís y a los lectores —ninguno de los cuales es afecto a las sorpresas— que hoy en día es prácticamente universal. Las pequeñas variaciones que se observan, como, por ejemplo, en *Nature*, donde la *Introducción* no está titulada y los *Métodos* van al final como un apéndice, sólo sirven para resaltar su popularidad. Es por eso que su cátedra probablemente insiste en que usted también lo siga en sus informes

Digo que no confunda el orden de exposición con el desarrollo cronológico de la investigación porque en realidad la evolución de un trabajo está llena de meandros y callejones sin salida que no encuentran lugar en el artículo final, a no ser que los errores que nos hicieron perder tiempo puedan servir a otros investigadores. Pero esos errores son casi siempre personales e intransferibles: por convención, un artículo científico no es el lugar para lloriquear por ellos. Como dijo el ganador del premio Nobel de medicina de 1960, Peter Medawar, en un artículo científico contamos los descubrimientos a los que hemos llegado, borrando cuidadosamente las huellas de cómo llegamos a ellos[15]. Medawar pensaba que la estructura inflexible del artículo científico lo limita, y, aunque nuestros colegas no son dados a la reflexión sobre su práctica, muchos opinan lo mismo.

En la página <http://www.jornada.unam.mx/1996/dic96/961209/fraude.html> usted puede leer lo que piensa el investigador mexicano Ruy Pérez Tamayo sobre este tema que no creo que se vaya a discutir en clase.

Aparte de estas componentes lógicas, un informe de laboratorio, al igual que un artículo científico, exhibe ciertas componentes formales que se agregan al cuerpo.

En total un informe está formado por los siguientes componentes, que usted deberá incluir en los suyos:

- título;
- autor;
- dirección;
- resumen;
- cuerpo según IMRD;
- agradecimientos;
- bibliografía;
- apéndices.

En lo que sigue discutiré estos elementos uno por uno.

4.3 El orden en la vida real

Tal como comenté arriba, un informe o un artículo no reflejan la verdadera historia de lo que se hizo en el laboratorio. Por el contrario, nos presentan una imagen ideal de las partes con valor científico duradero, purgada de errores, indecisiones y sentimientos humanos. Cuando uno comienza a estudiar ciencias, suele sentirse algo acomplejado porque no puede pensar de esa manera tan nítida y lógica que exhiben los libros de texto (o los artículos, en caso de que haya visto alguno a esa altura). Si ése es su caso, no se preocupe: *nadie piensa así*. Lo que se publica tiene tan poco parecido con la vida real como las retablos históricos escolares, el teatro Kabuki o las telenovelas venezolanas. Dada esta convención imperante, los testimonios de las idas y venidas reales en una investigación son raros. Uno de los pocos que conozco es el estudio de Luis Álvarez sobre el asesinato de John F. Kennedy[16].

Este artículo relata los esfuerzos de Álvarez, un físico norteamericano, ganador del premio Nobel de Física en 1968, para analizar la evidencia pública sobre los sucesos de Dallas y formarse su propia opinión. Álvarez aplica Física elemental, por lo que cualquiera lo puede entender (el tema se pone muy macabro a veces, así que la palabra “disfrutar” no se aplica). Este relato magistral de primeras intuiciones que resultan falsas, del uso de datos a menudo muy alejados del problema para extraer información insospechada, del empeño en construir la propia visión del hecho, es recomendable para todo estudiante de ciencias.

Un libro famoso que expone la realidad del quehacer científico es *La doble hélice*, el relato de James Watson sobre los entretelones del descubrimiento de la estructura del ADN[17].

En vista de esta calidad artificial de un informe, no debería sorprender a nadie que tampoco se lo escriba en el orden lógico de presentación. Si bien no hay un orden establecido, la mayoría de mis colegas empiezan por el cuerpo, IMRD, pero raramente en esa secuencia. Se suele escribir primero la sección de Métodos, porque uno ya debería tenerlos claros antes de empezar a obtener los Resultados, y por supuesto mucho antes de poder entrar a su Discusión. De las cuatro secciones, la Introducción es la última que se escribe, o por lo menos la última que se termina de escribir. Ya le explicaré la lógica de este orden cuando discutamos cada sección. Los agregados como Autores, Direcciones, Agradecimientos y Bibliografía salen solos, y los dos primeros, el Título y el Resumen, en realidad son lo último que se escribe.

Así pues, en lo que sigue iré discutiendo estas secciones a medida que las escriba para un informe sobre el período del péndulo que ilustra este libro. El tratamiento de cada sección comienza en la página que figura en la lista a continuación:

- título (página 100);
- autor (página 87);

- dirección (página 89);
- resumen (página 92);
- cuerpo del informe:
 - Introducción (página 81);
 - Métodos (página 53);
 - Resultados (página 65);
 - Discusión (página 75);
- agradecimientos (página 102);
- bibliografía (página 103);
- apéndices (página 133).

Capítulo 5

Los métodos

En la sección de *Métodos* se responde a la pregunta *¿cómo hizo el trabajo?* En la práctica puede llevar cualquier nombre: *El Modelo, Técnicas experimentales, Procedimientos, Enfoque, Técnicas experimentales y análisis de datos*, según datos que aparecen en una buena revista que estoy hojeando.

5.1 Instrucciones generales

Normalmente ésta es la primera sección que se escribe, porque el experimentador se familiariza primero con sus materiales, aparatos y modo de usarlos, que constituyen esencialmente su método experimental. Cuando el profesor se acerca a nuestra mesada y nos pregunta qué estamos haciendo, se está asegurando de que dominemos el contenido de esta sección. Si eso es cierto, podemos empezar a escribirla mientras esperamos los resultados. Ése es el caso en los trabajos prolongados, como tesinas de licenciatura o tesis doctorales; la mayoría de las prácticas de laboratorio son cortas y no dan tiempo para empezar a escribir el informe mientras se trabaja. Hay otra razón para empezar por ella: al ser la más técnica, resulta la más fácil de escribir.

También es la sección que se lee de más diversas maneras. En un informe de laboratorio, la cátedra la leerá y corregirá con cuidado. Como es la sección de escritura más simple, le exigirán que la redacte bien. En un artículo de investigación, los referís son muy estrictos con esta sección. Ninguna revista sería va a aceptar un artículo cuyos métodos no estén bien documentados y explicados. Pero a pesar de todo este interés, es probable que muchos lectores se salteen esta parte. Lo hacen porque ellos están interesados en los resultados, y en su relevancia para lo que *ellos mismos* están haciendo. Usted ya habrá comentado el método, de forma muy breve, en el resumen y en la introducción, y con eso les alcanza.

La clave de esta sección es contar cómo se hizo el experimento con suficiente detalle como para que un colega pueda reproducirlo. No dé una lista de instrucciones, sino relate lo que usted hizo. Como la sección *Métodos* se refiere a lo que se hizo, se escribe generalmente en pasado.

Esta sección se puede dividir en subsecciones, lo que por tradición no se hace con la *Introducción*. Este parcelamiento resulta conveniente si la descripción de los experimentos es compleja, y en especial si se combinan varios métodos. Si divide esta sección en subsecciones, trate de usar títulos que hagan juego con los de la sección Resultados. Eso le hará más fácil la lectura a su público, y a usted la escritura.

Evite un error muy común: **no escriba para su profesor**. A muchos informes los arruina su tono de "aquí está lo que me encargó, patrón", aunque el experimento en sí pueda estar bien hecho (generalmente no lo está, ya que el orgullo en una tarea bien hecha se trasluce al informe). Más que un tono de alumno obediente, adopte el de maestro. En el buen sentido: usted le está enseñado a sus colegas cómo llegar a sus resultados. Si usted está escribiendo un informe de laboratorio, un "colega" significa un estudiante de su mismo nivel, en otra institución.

Su lector no tiene por qué saber cómo está organizado el laboratorio donde usted ha trabajado, así que evite esas expresiones locales como "el compresor grande" o "la piccita de armado".

En muchos laboratorios de enseñanza hay guías que explican los procedimientos a usar. Generalmente están basadas en artículos publicados o en libros de texto. Haga lo posible por leer las referencias originales; si no aparecen en la guía, pregúnteselas a su profesor. Verá que son mucho mejores que la guía. Si están en inglés, aprenda inglés; lamento decirlo, pero hoy en día no se puede hacer ciencia si no se maneja esa lengua. Al describir los métodos, cite las referencias originales.

Cuando se refiera a materiales, sea preciso en cuanto a especificaciones técnicas, medidas, cantidades, origen y métodos de preparación. Trate de referirse a los materiales por sus nombres genéricos, y no use marcas comerciales. Idealmente, la información que usted tiene que saber sobre sus materiales e instrumentos es la que necesitaría para comprarlos por correspondencia. Tal información se encuentra en los catálogos y manuales comerciales, un tipo de literatura fascinante. En todo laboratorio de enseñanza hay un pañolero o encargado de mantenimiento que los lee: tómese un rato para conversar con él. Pregúntele cuáles son los catálogos clave en su campo, y pídale copias viejas (las compañías envían una versión nueva todos los años). Consulte sus catálogos, y le aseguro que adquirirá una visión nueva de su ciencia.

En los informes de laboratorio suele aparecer una tabla que describe los aparatos usados, incluyendo su número de inventario. Personalmente, esta tabla inflexible me resulta muy escolar, todo apiladito ahí como el guardarropas de un recluta. Nuestros estudiantes no reciben un equipo determinado para medir algo, sino que les comentamos la idea de un experimento, y ellos mismos se van agenciando los instrumentos y materiales que juzgan adecuados, por supuesto previa discusión y consejo de expertos (sus compañeros y la cátedra).

En el mismo espíritu, preferimos que describan sus instrumentos de manera más fluida a lo largo del texto de esta sección, tal como se hace en un artículo. Por supuesto que habría que individualizar cada instrumento, usando tipo y número de serie, pero en el cuaderno de laboratorio, de manera de poder controlar qué pasó después de devolverlos al pañol. Aun si le cuesta contarle a los demás cómo reproducir su experimento, guarde la información necesaria como para que pueda reconstruirlo usted.

Relate cuidadosamente sus trucos y procedimientos. No cuente sus tragedias personales, pero ayúdeles a los demás a evitarlas. Esto vale tanto para los informes experimentales como para los teóricos. No mencione sus resultados en esta sección, vienen en la siguiente.

5.2 El péndulo: los métodos

Ésta es la primera sección de mi informe que escribí. Como siempre, antes de comenzar hay que elegir quién narrará la historia. Muchos de mis colegas todavía insisten en el estilo tradicional impersonal (“El péndulo usado constaba de una plomada...”) o el plural real (“Usamos como péndulo...”). Yo prefiero relatar en primera persona, por supuesto en plural si hay coautores. Se considera que el primer artículo científico moderno es *Una nueva teoría sobre la luz y los colores*, que Isaac Newton presentó a la Royal Society en 1672. Empieza así:

En el año 1666 (cuando me dediqué al pulido de lentes ópticas de formas distintas a la esférica) me conseguí un prisma triangular de vidrio, para experimentar con él los celebrados fenómenos de los colores. Y para hacer tal cosa, habiendo oscurecido mi habitación, y hecho un pequeño agujero en

mi postigo, para dejar entrar una cantidad conveniente de la luz del Sol, coloqué mi prisma en su entrada, para que así pudiera ser refractada a la pared opuesta. Al principio fue una diversión muy placentera...

El relato en primera persona es el estilo original de Newton, que se había ido perdiendo. Hoy en día noto una tímida vuelta a mostrar protagonistas, y ya hay lugar para un estilo algo más personal.

Esto es lo que escribí, aparte de títulos. La oración inicial conecta con la sección anterior, la *Introducción*:

Tal como se vio en la *Introducción*, aún para amplitudes tan grandes como un radián el alargamiento del período no supera un 6%. Esto obliga a medir el período con precisión de un 1% o mejor si se desean resultados cuantitativos. En lo siguiente explico cómo usé instrumentos simples para medir el período con una precisión mejor que el 1%. Los instrumentos son una plomada, un cronómetro digital y una cinta métrica.

Construcción del péndulo

Como péndulo usé una plomada común de hierro, de 510 g de peso, que colgué de un clavo de 5 pulgadas clavado horizontalmente en una viga de madera. El hilo era de algodón retorcido, el que normalmente traen las plomadas al comprarlas. Até el hilo al clavo con un nudo ballestrinque. Éste es el nudo llamado “de albañil”, corrido de manera que el punto efectivo de suspensión de la plomada quedara en la parte inferior del clavo (ver Figura 1a). Para reducir el estiramiento del hilo durante el experimento, ajusté el nudo firmemente, estiré el hilo varias veces, y dejé colgar la plomada una hora antes de medir su longitud. Medí la

longitud del péndulo en dos operaciones: la primera, con una cinta métrica de acero, desde el borde inferior del clavo hasta el piso, una distancia de $247,3 \pm 0,1$ cm; la segunda, desde el piso hasta el extremo inferior de la plomada: la distancia era de $35,1 \pm 0,1$ cm. *Estimo* el error de cada una de estas medidas en 0,1 cm, la menor subdivisión de la cinta. Medí el largo total del péndulo en dos operaciones porque al hacerlo me encontraba solo: mientras que cada una de las operaciones me era posible, la diferencia no.

Un par de observaciones sobre los párrafos anteriores. Datos como el peso de la plomada o el tamaño del clavo del que la colgué son irrelevantes, no entran en la descripción teórica. Pero sí son útiles si uno quiere reconstruir el péndulo. También refuerzan la impresión de trabajo casero que deseo transmitirle al público especial de este informe, los profesores o estudiantes que podrían reproducirlo por su cuenta.

Uso el pretérito perfecto (usé, medí) para las acciones que llevé a cabo; las conclusiones que saco de ellas van en presente (estimo). La última oración tal vez suena un poco como una disculpa, pero refleja la realidad inevitable si uno trabaja solo, un punto que me interesaba recalcar. Usted **nunca** pida disculpas en un informe. Sigo:

Así pues, el largo del péndulo desde el punto de suspensión hasta su punta inferior era de $212,2 \pm 0,2$ cm. La longitud importante en un péndulo simple es la que va del punto de suspensión al centro de masa. Para determinar dónde estaba situado el centro de masa de mi plomada, la acosté sobre una mesa de fórmica con cantos nítidos, y la empujé de manera que su punta sobresaliera perpendicularmente del borde. La plomada comenzó a perder el equilibrio, bajando la punta, cuando

su centro de masa pasaba sobre el borde de la mesa. Esto sucedía cuando sobresalía $5,5 \pm 0,2$ cm del borde (error estimado por observaciones repetidas). Teniendo en cuenta el ángulo del cono (radio de la base, 2,58 cm, largo del costado, 8,24 cm, ver Figura 1b), *calculo* que el centro de masa (CM) estaba $5,8 \pm 0,2$ cm por arriba de la punta. Con esto, obtengo $l = 206,4 \pm 0,4$ cm para el largo total del péndulo, desde el punto de suspensión hasta el centro de masa de la plomada.

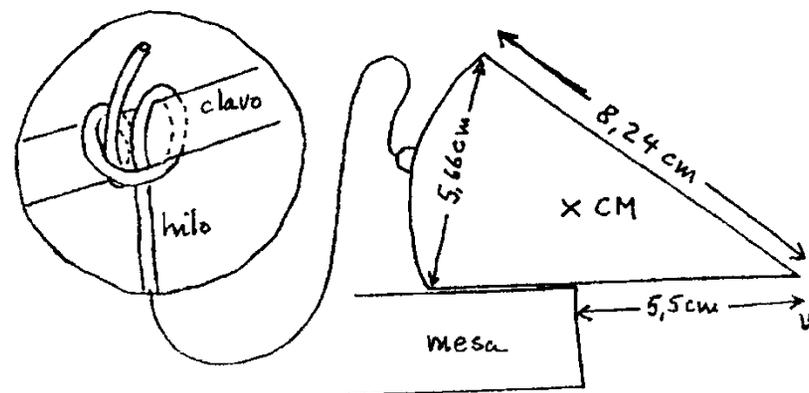


Figura 5.1: a) Detalle del nudo que sujeta la plomada. b) Dimensiones de la plomada y posición de su centro de masa.

Aquí la situación verbal se complica: además del pretérito perfecto para lo que medí y el presente para conclusiones que son verdades eternas, le agregué el pretérito imperfecto (“la plomada comenzaba...”). En general, trate de no emplear este tiempo. Suele usarse en relatos de desventuras personales (“yo disparaba el cronómetro y me medía cualquier cosa...”) que no deberían tener lugar en un informe, así que es una señal de alarma para los profesores. Ya dije que quiero mostrar reglas con sus excepciones: creo que aquí es el tiempo adecuado

porque esa medida la repetí varias veces, y este tiempo indica correctamente el comienzo repetido de la inclinación, el sentido de transición gradual. Las “observaciones repetidas” bien podrían irritar a un profesor (“vamos, hombre, ¿cuántas son repetidas, dos o doscientas?”), y en ese caso, le aconsejo no discutir: dé un número. Yo repetí la observación hasta convencerme, y con eso me alcanza. Sigo con mi texto:

Medición de tiempos y su error

Para medir los períodos usé un cronómetro digital (en los dos sentidos, ya que lo disparé manualmente). Medí los tiempos entre pasajes del péndulo frente a la marca en el mismo sentido. Como el péndulo pasa por estos puntos con su mayor velocidad, quedan mejor definidos en el tiempo. Si se dispara el cronómetro desde el extremo de la oscilación, los errores son aproximadamente el doble[guimpel03]. Para reducir los errores de paralaje al observar los pasajes del péndulo, marqué con cinta de enmascarar un lugar desde el cual sentarme a medir, situado a unos 3 metros del péndulo, perpendicular a su trayectoria, y mirando desde ahí marqué la proyección del péndulo en reposo sobre la pared opuesta, unos 2 m detrás del péndulo.

Lo de “digital en los dos sentidos” es un mínimo chiste-cito de monja. Usted evite cualquier rastro de humor como la peste, por lo menos hasta que haya calibrado a la cátedra. Yo, en cambio, me puedo permitir algunas libertades; por el otro lado, quería acentuar que usaba equipo de baja tecnología. La expresión entre corchetes, [guimpel03], es una cita bibliográfica (ver la página 103).

La forma más precisa de medir el período de una oscilación con un cronómetro es medir la duración

de una serie de N oscilaciones completas, de la misma manera que el espesor de una hoja de papel se puede medir al 1% con una simple regla, midiendo el espesor de una resma entera y dividiendo por 500. El período es la N -ésima parte de la duración total, ya que las oscilaciones se suman sin interpenetrarse. El error en el período es la N -ésima parte de la incerteza en la duración de la serie total.

La comparación con la resma de papel es didáctica, va mejor en un libro de texto que en un informe. Es adecuada para el público que yo he elegido, y como yo mismo necesito toda la ayuda posible para entender, me gustan esas comparaciones simples. Pero tenga en cuenta que esa clase de excursión tal vez no le guste a su profesor. Su uso en un artículo de investigación depende del autor. Puesto a enseñar, me pareció que el hecho de que las oscilaciones se pueden apilar sin que se interpenetren era importante; ésta sería una mala manera de medir felpudos o sillas plásticas apilables. Sobre los ejemplos simples, más en la sección 11.1.

Para determinar estadísticamente las incertezas propias del procedimiento[taylor97], medí 22 series de 20 oscilaciones cada una, con amplitudes menores que unos 7° . La dispersión estándar de estas medidas fue de 0,09 s, un valor típico para las circunstancias.

Esta dispersión es notablemente menor que la que se podría esperar. En efecto, la estimación usual supone que los dos extremos de la serie están afectados por un error igual al llamado “tiempo de reacción” del experimentador, y que, por lo tanto, el error para la duración de la serie es igual al doble del tiempo de reacción.

Para verificar esta suposición, cubrí con un papel las dos cifras del cronómetro a la derecha de la coma, lo disparé con el índice derecho y lo detuve cuando el 0 de las unidades pasaba a 1. La parte fraccionaria del tiempo que marcaba era mi tiempo de reacción. Repetí esto 115 veces y promedié mis resultados. Mi tiempo de reacción promedio fue de 0,30 s, con una dispersión estándar de 0,02 s.

La dispersión en las medidas de las oscilaciones es entonces mucho menor que el doble de mi tiempo de reacción, 0,6 s, y mucho más parecida al doble de la *dispersión* en los tiempos de reacción, 0,04 s. Esto se debe a que los errores en los dos extremos de la serie no son independientes, como supone la estimación usual, sino que, por el contrario, están muy correlacionados [ehrllich94]. Son errores, pero no estadísticos, sino principalmente sistemáticos, ya que ambos son *retardos*. El hecho de que la dispersión en los tiempos de oscilación sea aproximadamente el doble que 0,04 s probablemente se deba a que los momentos de pasaje del péndulo por la marca de referencia están determinados con menor nitidez que el cambio de la unidad en el cronómetro.

Puedo concluir que el error en mi medición de una serie de oscilaciones es de 0,1 s, redondeando el valor experimental. Midiendo series de 20 oscilaciones, el período del péndulo queda determinado con un error probable de $0,1 \text{ s}/20$, o sea, cinco milésimas de segundo. Es decir que, considerando

mi propio error de reacción y apreciación, necesitaba medir series de alrededor de 10 oscilaciones si quería obtener el período con un error del orden de la centésima de segundo, y de 100 oscilaciones para bajar el error a una milésima de segundo.

Como ya he comentado, la historia real de un informe es más complicada que lo que relata el autor. Por ejemplo, en este caso yo había pensado en medir los puntos para amplitudes grandes con mayor precisión. Estando solo y sin la ayuda de una fotocopiadora (un dispositivo que dispara un cronómetro cuando el péndulo corta un haz de luz), para lograrlo me vi obligado a entrar en un sistema complejo de interpolaciones. El informe resultante era demasiado complicado para mis fines, por lo cual lo reescribí con metas más modestas. Aun así, contiene más de lo normal: la sección sobre los tiempos de reacción y la forma de medir el período de un péndulo es más apropiada para un libro de texto sobre técnicas experimentales básicas. En un informe de laboratorio en la carrera de Física, se darían por sabidas y no se les dedicaría más que un par de líneas. En este caso, y teniendo en cuenta el público, me pareció conveniente incluirlas.

Capítulo 6

Los resultados

Esta sección es el núcleo de su informe. En ella usted responde a la pregunta ¿qué encontró?

6.1 Instrucciones generales

Idealmente, esta sección debería contener información nueva, cuantitativa o cualitativa, sobre la cual podamos ponernos de acuerdo. Aquí se aplica la instrucción que los jueces les hacen a los testigos en las películas judiciales: “Sólo los hechos”. Cualquier *interpretación* de los hechos se reserva para la *Discusión*. No quisiera entrar en discusiones epistemológicas, pero observe que estas instrucciones no son tan claras como parecen. La frontera entre hechos e interpretaciones puede ser muy difusa, y seguramente cambia todo el tiempo.

La sección de *Resultados* se escribe en pasado, y se puede subdividir. Si usted ya subdividió la sección de *Métodos*, probablemente le convenga usar las mismas subdivisiones aquí, para trazar un paralelo explícito entre los métodos y sus frutos.

Según veo, mis estudiantes nuevos cometen dos errores principales en esta sección. El primero es que tienden a incluir en ella detalles experimentales que ya deberían haber

descrito antes en *Métodos*; el segundo es que transcriben su cuaderno de laboratorio, es decir que muestran *todo* lo que han medido, sin seleccionar. Aquí, como dijo Gracián, “más obran quintaesencias que farragos”.

6.1.1 Ética científica

La conjunción de los “proyectos de investigación” escolares y la Internet ha tenido un resultado desafortunado. Es que los estudiantes se han acostumbrado a armar informes cortando y pegando material ajeno. Por supuesto, esto no debería ocurrir, pero son pocos los profesores que están dispuestos a insistir en una elaboración personal del tema, por modesta que sea; por el contrario, lo más común es que premien al autor por el volumen de su informe, con lo cual saca mejor nota el que más plagia.

Teniendo en cuenta ese acondicionamiento negativo durante doce años, no está de más recordar que los resultados experimentales, tanto en una práctica de laboratorio como en un artículo científico publicado en *Nature*, no sólo deben ser originales, sino también *reales*.

Hasta hace poco los físicos podíamos reírnos del asunto, pensando que los plagios y fraudes eran cosa de los biólogos. Es la plata, decíamos, los biólogos fundan una compañía para comercializar sus descubrimientos antes de ponerse el guardapolvos, discuten con sus contadores antes de hacerlo con sus colegas. Esas cosas no ocurren entre nosotros.

En el año 2002 dos escándalos nos mostraron que sí suceden. El caso más sonado fue el de Jan Hendrik Schön, un joven físico alemán que desde los laboratorios Bell produjo por lo menos 16 *papers* con datos falsificados. Varios de ellos aparecieron en *Nature* y *Science*, las dos revistas más serias del ambiente, según les he contado. Un papelón bochornoso. El otro caso fue el del físico búlgaro Victor Ninov, que fue despedido del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de

California por haber fraguado la creación de los elementos 116 y 118, los más pesados hasta la fecha. Debo decir que tanto Ninov como Schön siguen insistiendo en su inocencia total.

Las decisiones prácticas de un científico suelen estar muy condicionadas por su entorno: siempre falta el dinero, no hay tiempo, la sensibilidad del equipo no alcanza. Las decisiones éticas son las únicas que están enteramente en su poder.

6.1.2 El decálogo de Gaviola

Enrique Gaviola fue un gran físico experimental argentino[18]. Su decálogo ético para el científico decía:

1. No robarás.
2. Intentarás refutarte.
3. No fabricarás tus datos, ni mejorarás tus resultados re-tocando placas o películas.
4. No engañarás en la demostración de tus teoremas.
5. No ocultarás información.
6. No dejarás de investigar problemas que puedan molestar a “the powers that be”.
7. No recurrirás al argumento de autoridad.
8. Al hacer un experimento, no tratarás de demostrar la bondad de una teoría o modelo sino su invalidez.
9. Al exponer un resultado experimental, no forzarás los límites de validez de la teoría o modelo para obtener un mejor acuerdo.
10. No enviarás un trabajo antes de levantar todas las objeciones que tú y otros hagan al mismo.

La expresión inglesa “the powers that be” significa “los de arriba”, los que tienen la manija, sean quienes sean. En su vida, Enrique Gaviola cumplió sus propios mandamientos y, huelga decirlo, molestó abundantemente a los de arriba.

6.2 El péndulo: los resultados

He aquí cómo relaté los resultados que obtuve para mi péndulo.

Para medir el período (y al mismo tiempo estimar su incerteza, tal como expliqué arriba), comencé por medir 22 series de 20 oscilaciones cada una, con amplitudes iniciales de 7° . La duración promedio y su dispersión estándar son $57,607 \pm 0,086$ s. Como éstos son valores intermedios, mantengo dos cifras significativas en la dispersión estándar. El período medido de una serie de 20 oscilaciones resulta entonces $2,880 \pm 0,005$ s, donde he redondeado la dispersión estándar a una sola cifra (para arriba) y consecuentemente el promedio hasta la misma cifra decimal.

Como ve, las series de 20 oscilaciones las usé tanto para calibrar los errores del método como para medir el período. Por lo tanto, me refiero a ellas en las dos secciones: en la de *Métodos* lo importante era la dispersión estándar, en ésta lo que importa es el valor medio. En todo trabajo experimental debería haber una fase inicial donde se jugase con el método y los instrumentos. ¿Cómo medir bien si no se les ha tomado la mano antes? Esas guías de laboratorio que ya hemos mencionado suelen ordenar “mida N veces”, pero uno mismo tiene que determinar cuántas veces va a medir.

Para determinar el período para amplitudes pequeñas con mayor precisión, medí dos series de 100

oscilaciones cada una, con amplitudes inferiores a 2° , que me dieron 290,72 s y 287,84 s respectivamente. Como las fuentes principales de error son humanas, consideradas arriba[nelson86,ehrlich94], y éstas ocurren en los extremos de las series (salvo cuando se trata de errores al contar el número de oscilaciones), atribuí a estas series de 100 oscilaciones el mismo error que a las de 20 y amplitudes pequeñas, o sea 0,1 s (redondeado, dado que al tratarse de una suposición no tendría sentido mantener más de una cifra significativa).

Considerando esta estimación del error probable, resulta muy improbable que la diferencia entre los tiempos para las dos series de 100 oscilaciones se deba a una fluctuación estadística del orden de 30 desviaciones estándar. La diferencia tiene otro origen, tal como lo indica su valor, $2,880 \pm 0,2$ s (el error se duplica al restar), igual a *un período*. Claramente la serie más larga contiene un período más que la corta, debido a un error de conteo. Se puede descartar que la serie más corta contenga sólo 99 oscilaciones, y la larga 100, ya que en ese caso el período daría $2,907 \pm 0,001$ s, que supera al determinado anteriormente para 20 oscilaciones en más de cinco desviaciones estándar. Por lo tanto, se puede concluir que las series contienen 101 y 100 oscilaciones, por lo cual el período resulta $2,878 \pm 0,001$ s.

Pero no tenía ganas de hacer estadísticas con las series de 100 oscilaciones. Son muy largas, y la probabilidad de que yo no me equivoque al contar hasta 100 es pequeña. Como ve, me salteé una oscilación en una de las series, un error común. Un error todavía más común es contar una oscilación de más: al comenzar el conteo disparando el cronómetro tendemos a

empezar por uno. ¿Quién empieza a contar por cero? Estos errores nunca aparecen en un informe: normalmente la deducción de que una de las series tenía 101 oscilaciones estaría en el cuaderno de laboratorio, junto con su corrección explícita. La he incluido aquí porque para futuros profesores de ciencia tiene un doble valor. Por un lado, ver que los profesionales se equivocan como todo el mundo; por el otro, que el “no me da” no es una explicación satisfactoria (aunque reconozco que a veces hay que quedarse ahí), y que medidas erradas pueden ser tan útiles como las correctas y didácticamente mucho más fructíferas.

Las amplitudes grandes decrecen visiblemente en cada oscilación; por tal razón en ese régimen medí series de sólo 20 oscilaciones, para tres amplitudes iniciales. En la Tabla figuran la amplitud inicial desde la que dejé caer el péndulo (medida con error despreciable) y la amplitud final *aproximada*, estimada con un error no mayor que 2° , correspondiente a unos 8 cm en la posición de la plomada.

A diferencia de las mediciones para amplitudes pequeñas, estos valores están medidos desde un extremo de la oscilación hasta el retorno al mismo punto. El error temporal con que quedan determinados los pasajes por estos puntos de retorno, debido a la velocidad nula de la masa en ellos, es aproximadamente el doble que cuando se mide el pasaje por la posición de equilibrio [guimpel03]. Por lo tanto *estimo* el error de estas series en el doble que al medir en la posición más favorable, o sea en 0,2 s.

La Tabla 1 resume los datos medidos, así como los valores calculados para el período.

La expresión 1, escrita como la variación en el

amplitud (grados)		N	duración (s)	período τ (s)
inicial	final			
2	2	101	290,72±0,1	2,878±0,001
2	2	100	287,84±0,1	2,878±0,001
7	7	20	57,607±0,086	2,880±0,005
33	25	20	58,81±0,2	2,94±0,01
56	35	20	59,56±0,2	2,98±0,01
66	42	20	60,73±0,2	3,04±0,01

Tabla 6.1: Duración de series de N oscilaciones para distintas amplitudes iniciales, y los correspondientes períodos calculados. El valor para la amplitud inicial de 7 grados es el promedio de 22 medidas.

período relativa al período de amplitud nula

$$\frac{\tau_{\text{medio}}}{\tau_0} - 1 = \frac{1}{4} \sin^2\left(\frac{\alpha_{\text{media}}}{2}\right),$$

está graficada en la Figura 2 para los puntos medidos. Como aproximación a τ_0 he usado la medida para amplitudes menores, $2,878 \pm 0,001$ s. Dado que las amplitudes varían gradualmente durante las series de amplitudes grandes, en el gráfico he atribuido el valor experimental a α_{media} , la amplitud promedio (la semisuma de las amplitudes inicial y final) durante la serie. Debido al error de 2° en la amplitud final, esta amplitud promedio tiene un error de al menos 1° . Afinar el cálculo y tomar en cuenta la real dependencia del período en la amplitud para promediar esta última nos llevaría más allá del nivel de discusión de este trabajo. Las barras de error verticales provienen de los errores estimados arriba para los períodos; el error para los dos puntos de amplitudes menores es menor que el tamaño de los símbolos usados.

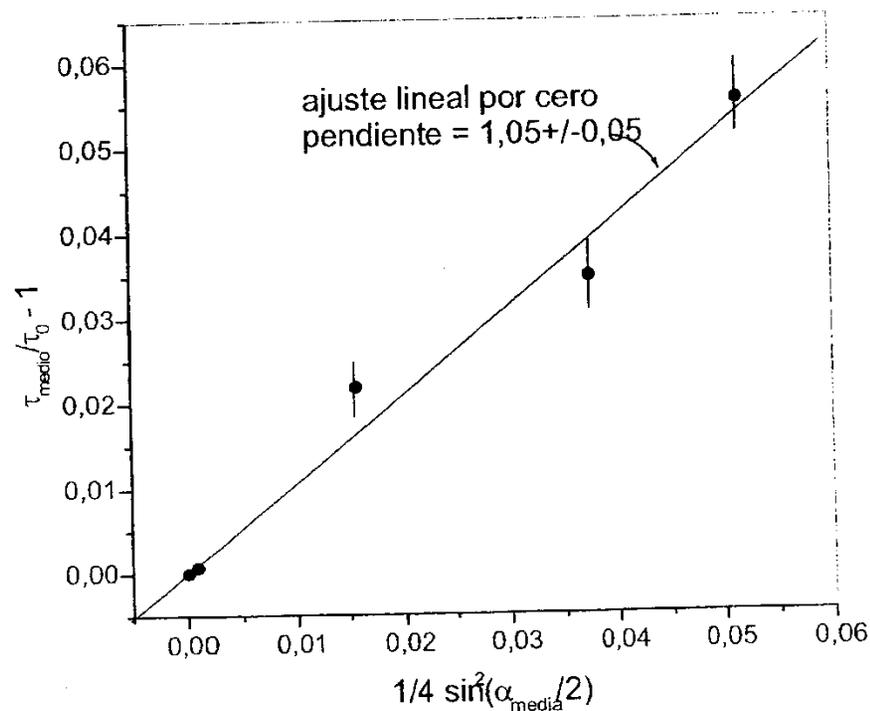


Figura 6.1: Los resultados medidos según la expresión 6.2: la variación del período promedio es aproximadamente lineal con el cuadrado del seno de la semiamplitud media. La pendiente de la recta que pasa por el origen, ajustada por cuadrados mínimos, es $1,05 \pm 0,05$.

Los dos primeros párrafos esconden mucho más que lo que dicen. Estando solo, y con medios experimentales mínimos, la amplitud final de una serie sólo se puede determinar de manera muy imprecisa. En mi versión original del informe, usé la curva de decaimiento experimental de la amplitud, que también medí, y una curva de interpolación basada en el roce aerodinámico a velocidades grandes, que explicó hermosamente los datos medidos. Pero explicar ese desvío hubiera complicado el trabajo, y por supuesto no podía usar resultados que no estuviera dispuesto a explicar. Preferí entonces saltar esa parte y aceptar mayores imprecisiones en la amplitud final. La penúltima oración (“Afinar el cálculo...”) es una de las

maneras usuales de cerrar una discusión. Un informe de laboratorio no es un examen: usted elige el tema del que quiere hablar y sobre eso habla. Tiene que decir la verdad, pero no toda la verdad. No pida disculpas por lo que no hace o no mide; su trabajo tiene un tema limitado, y el tiempo para llevarlo a cabo es finito: ¡por supuesto que los resultados también van a ser limitados!

Recalco esto porque ahí radica uno de los errores más comunes que cometen mis alumnos: relatan lo que querían hacer y, claro, después se disculpan por haber logrado sólo una mínima parte. Un profesional ante la misma situación, en cambio, explicaría cuáles son los problemas interesantes, para que todos se den cuenta de que no se le escapan, y en vez de decir “de toda esta lista sólo pude medir este poquito”, lo pondría en positivo y afirmaría “en este trabajo nos concentramos en...”.

Finalmente, he presentado mis datos tanto en una tabla como en un gráfico, lo cual no se hace en general. En este caso lo hice porque me interesaba mostrar la tendencia lineal de los datos en el gráfico, pero también quería dejarle los datos exactos a algún profesor que se interesara en ellos.

6.3 Controles a Métodos y Resultados

Una vez escritas las secciones de *Métodos* y de *Resultados*, reléalas cuidadosamente y hágase las siguientes preguntas:

- ¿Está completo, he incluido toda la información necesaria para reproducir mis resultados?
- ¿He incluido más material del necesario?
- ¿He acentuado suficientemente las ideas principales y he subordinado las de menor importancia?

- ¿Es lógico el desarrollo del tema, está libre de lo que al lector le parecerían lagunas y saltos?
- ¿He presentado el material de la manera más cuantitativa posible?
- ¿He usado las tablas y gráficos de la mejor manera posible? ¿Están óptimamente diseñados los que he usado?
- ¿Los hechos que he presentado son adecuados para apoyar las conclusiones que voy a presentar?

De acuerdo a las respuestas que usted haya dado a estas preguntas, y a las que a usted se le ocurran - pues en esto todo es empezar—, reescribalas.

Capítulo 7

La discusión

Después de tener listos y escritos los *Resultados* se escribe esta sección.

7.1 Instrucciones generales

En esta sección, la final desde el punto de vista lógico, y usualmente llamada *Conclusiones* o *Discusión*, se discute críticamente la validez y relevancia de los resultados, se llega a conclusiones específicas y, a veces, se hacen recomendaciones. Al escribir las conclusiones, asegúrese de que

- surjan de los datos y razonamientos presentados en el cuerpo del artículo, o sea que no incluyan deducciones para las cuales no se haya ofrecido evidencia previa. En otras palabras, que no está sacando nada de la galera;
- en ellas se llame la atención sobre cualquier excepción o falta de correlación, y se resalten los puntos poco claros. Nunca piense que, si usted no los menciona, los otros no se van a dar cuenta, porque sí lo van a hacer. Ser crítico con el propio trabajo no es solamente honradez científica, sino que es también la mejor manera

de empezar la discusión en la propia cancha, porque los otros son durísimos;

- sean consistentes con las promesas que le hizo al lector en la *Introducción* (si la hubiera escrito antes).

La discusión debería incluir una frase o párrafo sobre la relevancia del trabajo. Esto es importante, pues le muestra a la cátedra que el autor se ha dado cuenta de qué ha hecho. Muchos trabajos, buenos en sí, terminan en nada, y dejan a la audiencia preguntándose “Y...?”. Esto pasa muy a menudo en informes de laboratorio, cuando la única relevancia que percibe el estudiante en el trabajo es que, con suerte, tal vez le haga aprobar el curso. Si usted está en esta posición, lo comprendo. Pero hay que ver el lado positivo de las cosas: si usted aprende a encontrarle alguna relevancia objetiva a esas prácticas aburridísimas que le asignan sus profesores, imagínese lo que va a poder decir cuando quiera contar algo medianamente interesante. Pero no hable sobre la importancia *personal* del trabajo: en un informe no se discute si le resultó satisfactorio, si le ayudó a crecer como persona o si esa actividad muestra de lo que es capaz nuestra juventud cuando la apoyan. Todo eso es cierto, pero no tiene lugar en el tono impersonal que afectan los científicos.

7.2 El péndulo: la discusión

La sección *Resultados* terminaba con la Figura 2, que muestra muy convincentemente los puntos experimentales alineados sobre una recta que a todos los efectos prácticos tiene pendiente uno. Un gráfico así habla por sí solo y no deja mucho para discutir. Sin embargo, esta sección empieza y termina con párrafos modestos y cautelosos.

Ya las duraciones de las series de amplitudes grandes (Tabla 1) muestran sin ningún análisis cómo

aumenta el período con la amplitud de oscilación. Sin embargo, dado que las mediciones para amplitudes grandes las hice después que las de amplitudes menores, parte del aumento del período podría deberse a un estiramiento del hilo del péndulo. Por esta razón *después* de medir las amplitudes grandes volví a medir 10 series de 20 oscilaciones cada una para amplitudes menores que 2° ; el período resultó ser igual a τ_0 dentro del error. Experimentalmente se puede descartar un estiramiento del hilo como causa principal del alargamiento del período.

La última oración usa el truco tan común de exponer una conclusión mía como si fuera impersonal, “se puede descartar”. Éste es un recurso retórico para evitar discusiones. La verdad es que un referí aquí podría decir: “bueno, tal vez se pueda descartar un estiramiento permanente del hilo, pero ¿qué pasa con uno dinámico?”. Porque las oscilaciones de mayor amplitud implican mayores velocidades y, por ende, mayores fuerzas centrípetas sobre el hilo, que tal vez podrían estirarlo algo...

La Figura 2 muestra la recta que pasa por cero ajustada por cuadrados mínimos a los puntos medidos. Su pendiente es $1,05 \pm 0,05$, prácticamente igual a la unidad. Puedo concluir entonces que la primera corrección que he considerado aquí explica satisfactoriamente la variación del período para amplitudes del orden del radián, dentro de la precisión del método usado.

Los resultados obtenidos permiten responder una pregunta de importancia práctica: ¿hasta qué amplitud es *experimentalmente* válida la aproximación armónica, es decir, hasta qué amplitud *parece* constante el período? La respuesta naturalmente

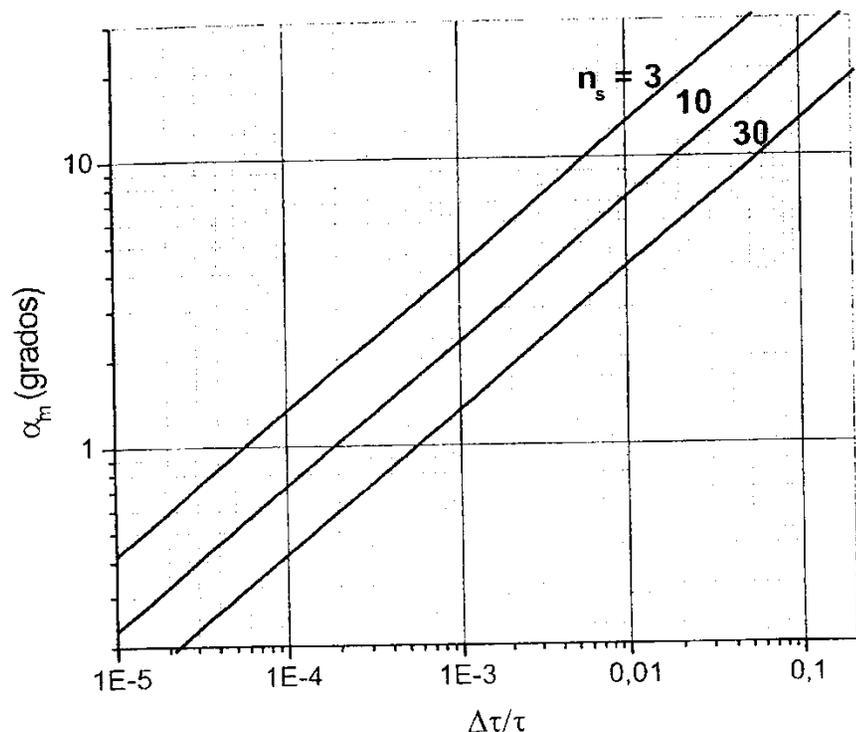


Figura 7.1: Amplitud máxima de validez de la aproximación armónica en función de la precisión relativa con que se mide el período, para tres valores del factor de seguridad n_s .

depende de la precisión con que se mida el período. La variación no se notará experimentalmente si es menor que una fracción del error en el período, $\Delta\tau/n_s$. Este “factor de seguridad” n_s podría ser del orden de 10. De esa manera, la máxima amplitud, α_m , sería

$$\alpha_m \approx 2 \arcsin \sqrt{\frac{4\Delta\tau}{n_s\tau_0}},$$

que para un $n_s=10$ se traduce en aproximadamente $1,4^\circ$ (o 2° en términos prácticos) para períodos

de unos 3 s, medidos con un error de 0,001 s, como en el caso presente.

La Figura 3 muestra la relación anterior en un ábaco que permite extraer la máxima amplitud de validez de la aproximación armónica según el criterio discutido aquí, en función de la precisión con que se mide el período del péndulo.

El uso de aparatos de medición algo más complejos, pero asequibles a casi cualquier laboratorio escolar, o un participante más, hubiera reducido los errores experimentales. Por ejemplo, si se hubiera disparado el cronómetro con una fotoc compuerta, se hubieran reducido mucho los errores en los períodos. Esto hubiera permitido medir los períodos ya sobre una sola oscilación con una precisión de 0,001 s. Los resultados finales, mucho más precisos, probablemente hubieran hecho necesario incluir términos superiores del desarrollo en serie del período.

Los tratamientos elementales del péndulo generalmente concluyen que hasta amplitudes del orden de los 10° el comportamiento es razonablemente armónico, y el período constante. Me pareció interesante, y tal vez útil, incluir el ábaco de la figura.

Según veo, mis alumnos están convencidos de que al final de la discusión un informe deben aportar sugerencias para mejorar la práctica. Todos se esfuerzan en inventar maneras de mejorar (o complicar, más bien) lo que han hecho. A mi juicio, esto es esfuerzo inútil: si las mejoras son factibles, deberían haberlas hecho ellos mismos, y si no lo son, mejor ni mencionarlas. Ya hay demasiadas propuestas brillantes para que otro lleve a cabo.

Capítulo 8

La introducción

Dependiendo de la longitud del artículo, éste tendrá o no una sección titulada *Introducción*, pero en cualquier caso la simple cortesía aconseja comenzar con algunos párrafos introductorios. Se la escribe al final, de manera que en ella prometemos lo que ya sabemos que podemos dar.

8.1 Instrucciones generales

La primera frase de la *Introducción* es tal vez la más difícil. Por suerte nadie nos obliga a escribirla primero: escriba cualquier cosa, y mejórela más tarde, cuando esté en vena.

Vimos al hablar sobre la organización del artículo que en esta sección se expone el problema científico que lo ha motivado. Alguien dijo que en la introducción el lector y el autor se reúnen informalmente y deciden por anticipado de qué van a hablar. Así, pues, en la introducción usted debería:

- aclarar el tema preciso del artículo;
- indicar la amplitud del tratamiento del tema;
- declarar el propósito del artículo;

- explicar la organización del artículo.

Puede ser también una buena idea el incluir sucintamente los resultados en esta sección, ya que es muy posible que algunos lectores no deseen ir más allá.

8.2 El péndulo: la introducción

Escribí esta sección al final, tal como se suele hacer. Admiro a los autores que encuentran frases ingeniosas para comenzar; a mí no me salen. Pensé que podía empezar por dos características del péndulo simple que les llaman la atención a los legos. Además, el tratamiento del péndulo ideal en *Mecánica elemental* de Juan G. Roederer, un texto soberbio que cito como referencia en la primera oración, termina resaltando precisamente esas dos características. Así, en un pequeño homenaje, mi primer párrafo recapitula el final del tratamiento de Roederer, y el informe sigue desde ahí, ampliando el tratamiento anterior. Eso es típico de la literatura científica: cada contribución agrega algo a lo que ya está hecho, como discutimos en la sección 9.7.

Cuando uno escribe un informe científico, una buena pregunta es ¿para qué va a servir? Me pareció que el informe o artículo debería servirle a un profesor para seguir desde donde terminaba el tratamiento del péndulo en *Mecánica elemental*. En ese caso, lo que haría mi lector imaginario sería intercalar una fotocopia de mi informe en ese preciso lugar, entre las páginas 96 y 97 del libro de Roederer. Por supuesto, visto así, yo *tenía* que usar la misma notación que Roederer como una mínima cortesía al lector. Así, pues, en una reescritura cambié mi notación original. Comencé con:

Dos características notables del péndulo ideal o simple son que su período no depende ni de su masa ni de la amplitud de oscilación, α_{max} [roederer02].

La primera característica es exacta hasta donde sabemos, ya que se debe a la proporcionalidad entre la masa inercial y la gravitatoria. La constancia del período, en cambio, es una aproximación para amplitudes pequeñas, la llamada *aproximación armónica*; en realidad, el período *aumenta* levemente con la amplitud.

Generalmente el período de un péndulo simple de longitud l se da como $\tau_0 = 2\pi\sqrt{g/l}$, donde g es la aceleración de la gravedad(roederer02). En rigor, este valor es la aproximación para amplitud tendiendo a cero (de ahí el subíndice "0" para el período). Para amplitudes mayores, se puede obtener el período como un desarrollo en serie en la amplitud(pippard78):

$$\tau(\alpha_{max}) = \tau_0 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \left(\frac{\alpha_{max}}{2} \right) + \dots \right).$$

Para amplitudes grandes, del orden de un radian, esta corrección es del orden de $\sin^2(1/2)/4 \approx 0,06$, o sea un 6%.

La dependencia del período con la amplitud suele llevar a confusión en los laboratorios elementales, cuando difieren dos mediciones sobre el mismo péndulo. Las discrepancias pueden deberse a técnicas experimentales incorrectas o a un efecto físico real. Resulta de interés práctico examinar cuáles son las técnicas experimentales correctas, cuál es el efecto real de la amplitud, cómo se lo pone en evidencia y, finalmente, cómo deben limitarse las amplitudes para eliminar las discrepancias.

En este informe muestro cómo el alargamiento del período resulta fácilmente medible en un péndulo

de construcción casera, usando instrumentos simples. En la sección *Técnicas experimentales* relato cómo medí tiempos y amplitudes, y especialmente cómo estimé sus errores; en *Resultados* expongo qué obtuve. En la sección *Discusión* muestro que los resultados obtenidos se explican satisfactoriamente con la primera corrección al período discutida arriba. Como un resultado extra, discuto hasta qué amplitud se justifica la aproximación de un período constante, dependiendo de la precisión con que se mida este último, y la grafico en un ábaco de utilidad experimental.

En una primera versión había incluido la derivación completa de la expresión del período porque no es fácil encontrarla, más tarde eliminé los pasos intermedios y dejé la fórmula junto con la cita donde se puede encontrar el detalle. Cuánto detalle matemático incluir en la *Introducción* es un problema no resuelto. Me parece que mis colegas tienden a escribir introducciones más largas en su primer artículo sobre un tema, y en los subsiguientes las abrevian y se refieren al primero. Esa primera introducción es un apunte y puesta al día para uso propio. Si es así, un estudiante está muy justificado si escribe una introducción que le resulta tediosa a su profesor. Pero a menudo los informes contienen páginas y páginas de detalles sin importancia, tal vez para inflar el texto. No haga eso, ningún profesor le va a dar puntos por todo ese ripio.

Tampoco incluya demasiadas citas, no trate de hacer un estudio exhaustivo de la literatura existente. Aunque el imaginario popular supone que los físicos saben todo, a la mayoría de mis colegas les disgustan los sabelotodos. El matemático Alfred North Whitehead dijo que los científicos no investigan para saber, como piensa la gente, sino que saben para poder investigar. Así que no se preocupe demasiado por lo que ignora, y no trate de dar una impresión de erudito.

8.3 Las expresiones matemáticas

Las fórmulas nos plantean un problema: ¿cómo se las debe incluir en el texto? Sobre esto no hay consenso. A mi juicio hay que considerarlas exactamente como si fueran texto[19]. Esto significa que hay que puntuarlas correctamente. Por ejemplo, la expresión de la página 81 para el período finaliza una frase, por lo cual va seguida de un punto. De un punto seguido, pues el párrafo sigue, así que la frase siguiente, "Para amplitudes grandes..." no está corrida en la sangría con que mi procesador de textos empieza los párrafos (excepto el primero en cada sección).

Es cierto que las expresiones matemáticas a veces se comportan de manera distinta que el texto, como cuando una ecuación ocupa su propia línea:

$$T(\theta_0) = 4 \int_0^{y_0} \frac{dy}{\dot{y}} = \frac{4}{\omega_0} \int_0^{y_0} \frac{dy}{\sqrt{\sin^2 y_0 - \sin^2 y}},$$

o se ramifica de esta forma:

$$\begin{aligned} T(\theta_0) &= \frac{4}{\omega_0} \int_0^{\pi/2} (1 + \sin^2 y_0 \sin^2 \phi + \dots) d\phi \\ &= \frac{2\pi}{\omega_0} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 y_0 + \dots\right). \end{aligned}$$

En el caso de arriba he usado una coma, pues la oración seguía después de la ecuación. En la bifurcación de abajo le he puesto un punto —en este caso, final— sólo a la expresión inferior.

Es muy conveniente numerar las expresiones matemáticas para referirse a ellas más adelante. Tal vez lo más práctico sea numerarlas a todas, cosa que haré en la versión final.

Capítulo 9

El material accesorio

En este capítulo discuto el material que rodea al cuerpo del informe preparado según el esquema IMRD. Su función es presentar al trabajo y a los autores, establecer prioridades, agradecer el apoyo recibido y reconocer el trabajo ajeno. También lo presento en el orden en que se suele escribir. Como ya he dicho, este orden no es rígido.

9.1 Los autores

A continuación del título y en tipo de letra menos destacado van los nombres de los autores, tal como ellos deseen usarlos. No van precedidos por "Autores:" o "por".

Es conveniente cuando estos nombres se mantienen invariables a lo largo del tiempo. Usted les hará un favor a sus lectores, y los recopiladores de guías bibliográficas le quedarán agradecidos si elige como nombre de pluma una versión de su nombre que vaya un poco más allá del mínimo. Primer nombre, inicial y apellido es una buena solución entre J. Pérez y Joao Bautista da Costa Cunha e Lima, Jr. Yo no cumplo mis propias instrucciones, y firmo E. N. Martínez; demasiado corto, pero nadie me aconsejó en su momento. Por favor, no escriba su nombre invertido ("Martínez, E. N."), una práctica

militar aborrecible. Un nombre expresa una personalidad, y es usted quien debe decidir cómo se llama, no los burócratas.

Pero tampoco hay que abusar. Tenga en cuenta que, si decide llamarse "Coco", "Pepe" o "Bobby" en un entorno tan formal como el de un artículo científico, tendrá que disculpar a sus futuros lectores si piensan que tal vez el contenido de su informe sea tan pueril como el nombre con que usted se presenta, y, por lo tanto, quizá no valga la pena leerlo.

Las autoras suelen tener problemas con los nombres al casarse, pero francamente no se qué aconsejarles. La tendencia actual es a mantener sus nombres de solteras.

En general, no se usa ninguna clase de título profesional, como Dr. o Ing., ni posición jerárquica. La excepción suele darse en revistas de medicina y de ingeniería. En revistas de Física sólo he encontrado dos excepciones. Una está en los artículos sobre la superfluidad del helio firmados por dos autores holandeses llamados Keesom. Como el segundo es en realidad la segunda, lo muestra en su firma: *Miss A. P. Keesom*, Anna Petronila Keesom, la hermana del primer autor. La otra excepción es el "Sir" antes del nombre de ciertos científicos en publicaciones inglesas.

Si bien los nombres de los autores no ofrecen dificultad y dependen de sus decisiones individuales, cuántos aparecen y en qué orden no debería traer problemas en informes de laboratorio grupales. Sin embargo, en los artículos de investigación profesionales con sus celos y competencia, es harina de otro costal. Un costal con más gatos que harina, por otra parte.

Deberían aparecer como autores todas aquellas personas que han hecho contribuciones sustanciales a la investigación que se relata en el artículo, y nadie más. La convención es que todos los autores son responsables por todo lo que se dice en el artículo; pero en estos días de trabajos en colaboración no se cumple, y es posible que si se tratara de imponerla se entorpecería gravemente la cooperación interdisciplinaria que queremos fomentar.

No se debería incluir a alguien en la lista de autores simplemente porque nos prestó una muestra (pero se lo hace todo el tiempo), nos dejó usar su microscopio de barrido (ídem), o es el jefe del laboratorio y es responsable de que nos renueven la beca (aquí usted ya habrá oído sus propias historias de horror). De más está decir que esta regla no se cumple estrictamente: las listas de autores de algunos trabajos experimentales sobre partículas elementales parecen el padrón de votantes de un cantón suizo, y probablemente lo sean.

Si bien incluir colados entre los autores está mal, parece ser una práctica generalizada. El no incluir a una persona que haya participado decisivamente en el trabajo es una canallada inenarrable, y no se hace. O no se debería hacer.

En el ambiente profesional, el orden en que aparecen los nombres de los autores da origen a discusiones y enemistades perdurables. Durante mucho tiempo el primer autor fue el principal, pero luego apareció la tendencia a poner al jefe y generador de las ideas al final, como manera de exponer al público a los colegas jóvenes, así que, según donde uno esté, se puede jugar a las dos puntas. El sistema de orden alfabético, que todavía no está universalmente aceptado, tal vez evitaría estos problemas. Pero hecha la ley, hecha la trampa: conocí a un profesor alemán que, según se decía, no aceptaba doctorandos que figuraran en la guía antes él.

De todas maneras, no trate de leer entre líneas el orden de los nombres. Aprenda cuál es la convención en su grupo, así no entra en discusiones inútiles; y, si tiene que discutir algo con autores de un trabajo, escríbale siempre al primer autor, a no ser que conozca personalmente a uno de los otros.

9.2 Dirección de los autores

En general se da una dirección profesional, con lo cual los autores implícitamente están reconociendo el apoyo que les ha

brindado esa institución. Es posible que en el futuro alguien quiera consultar a los autores sobre el trabajo, para lo cual escribirá a la dirección que figura aquí: trate de que el correo la entienda. En un informe, puede ser que la cátedra tenga alguna preferencia especial. Si no, escriba una dirección que permita localizarlo.

La situación se complica cuando los autores pertenecen a diferentes instituciones —pues en este caso hay que listarlas a todas—, o cuando el autor se ha mudado mientras escribía el trabajo. En este caso figura aquí la institución donde se hizo el trabajo, y la nueva se detalla al final del artículo, generalmente encabezando las referencias. Los casos en que tres autores pertenecen a cuatro instituciones llevan a la proliferación de llamadas y supraíndices. Vea cómo resuelve el caso su revista preferida.

9.2.1 Separatas

Si usted es nuevo en este oficio, tal vez no conozca una muestra de cortesía científica a la cual usted ahora tiene derecho. Usted puede pedir copias gratis del trabajo que le ha interesado (llamadas *separatas*, y *reprints* en inglés), enviándole una *tarjeta de reprint*, que tal vez exista en su biblioteca, al primer autor, a la dirección que figura en el trabajo. Algunas revistas agregan información sobre a qué autor hay que dirigirle la correspondencia. Si su institución no tiene tarjetas de *reprint* (y si no es de investigación, dudo que las tenga), hágalo en una postal cualquiera. El autor le mandará, gratis, una copia del trabajo, y usted habrá hecho su buena acción del día, masajeando un ego. Fíjese que la copia se le pide al autor, y no a la revista. Escriba el remitente de manera que el autor —o su secretaria— pueda recortarlo y pegarlo en el sobre. Llámelo “Dr.” al autor, aunque no sepa qué es. El de “doctor” es un título seguro, que no ofende a nadie, en ningún país, que yo sepa. El título de “profesor”, en cambio, es riesgoso, ya que

tanto puede halagar y mortificar a un alemán (que, si no lo ostenta, se verá en la penosa obligación de aclarar que no es profesor) como ofender levemente a un investigador argentino, por su connotación local de docente de enseñanza media, no universitaria.

La copia que usted reciba puede tener dos orígenes: puede ser una auténtica separata, una impresión original del artículo, hecha por la imprenta, o puede ser una fotocopia hecha por el autor. Cuando una revista publica un artículo, le ofrece separatas al autor. Compradas de a cientos, cuestan un par de dólares cada una. Por esa razón, los autores de países menos pudientes muy rara vez podemos darnos el lujo de encargar separatas, y cumplimos con fotocopias. Copiar el artículo que a uno le interesa en general es más barato y rápido que mandarlo pedir, sin contar lo que le ahorra al autor en separatas o copias y franqueo. Sin embargo, la costumbre persiste, como un rezago de los tiempos en que Xerox no existía. Y de hecho, los pocos pedidos de *reprint* que se reciben hoy en día provienen casi todos de los países del antiguo bloque comunista, en donde siguen faltando las fotocopadoras, o su carencia está más fresca.

9.2.2 Fechas de recepción y aceptación

En los artículos de investigación, pero no en los informes de laboratorio, debajo de las direcciones, o a veces en una llamada al pie de la página, figuran entre paréntesis las fechas de recepción y de aceptación del trabajo. La separación entre las dos da una idea de cuánta discusión con los referís ocasionó el *paper*. Esta idea es muy imprecisa, pues se suman las tardanzas propias del correo (antes, ahora casi todo el tráfico de artículos es por e-mail) y las demoras que otras actividades, como exámenes o vacaciones, les imponen tanto a los referís como a los autores en sus respuestas. La separación entre la fecha de aceptación y la de publicación, en cambio, habla sobre

la dinámica interna de la revista, cuánto tarda en procesar su material.

Para dar una idea de cómo son estos tiempos, he hecho una pequeña estadística sobre 44 artículos en el *American Journal of Physics* que tengo a mano. El tiempo de discusión, es decir, el que transcurre entre la recepción y la aceptación, es de 170 ± 107 días, mientras que el de procesamiento, entre la aceptación y la publicación, es de 178 ± 62 días. Los errores son una desviación estándar, y la diferencia apoya lo que dije arriba. A un autor publicado le lleva 348 ± 113 días publicar su artículo en esta revista, un año redondo en otras palabras. Parece largo, pero es un valor típico.

9.3 El resumen

A continuación del título, los autores y sus direcciones, su informe lleva un resumen, llamado *abstract* en inglés. Este resumen describe en forma muy abreviada el contenido del artículo. No se lo usa en textos muy cortos, como *letters* o murales. Normalmente en el resumen se explica por qué se ha investigado el tema, cómo se lo ha hecho, qué ha salido y qué relevancia tienen los resultados. Es decir que se trata de repetir el esquema IMRD, pero esta vez dedicando una sola oración a cada respuesta. No es de asombrarse que sea la parte más difícil de escribir de todo el informe.

Por suerte, el resumen, al igual que el título, se escribe al final, cuando ya está listo el texto principal. La excepción a este orden tan conveniente se da cuando hay que enviar un resumen de un artículo o póster para una conferencia que va a tener lugar meses más adelante. Por supuesto que a esa altura nadie tiene nada escrito (y medido, bastante poco). Escribir un texto que resuma lo que no ha sucedido es un arte. Por suerte, este problema no se le va a presentar a usted con un informe de laboratorio.

El estilo del resumen es lacónico pero no telegráfico. En el resumen, que consta de un solo párrafo de unas 100 a 250 palabras según la revista, se respeta la gramática y no se omiten los artículos. Se aconsejaba escribirlo en tiempo pasado[3], como algo ya hecho, pero la realidad es que la mayoría de los resúmenes se escriben en presente: más que relatar acciones pasadas, explican el contenido de un objeto presente, el artículo.

Algunas revistas piden que se resalte la contribución del trabajo, precediéndola con una expresión como "Aquí demostramos..." o algo semejante (ver ejemplos más abajo). En mi experiencia, los principiantes tienen dificultades en dejar en claro cuál es su propia contribución (vea la sección sobre la Bibliografía, en la página 103), así que tal vez le convenga también a usted seguir esta práctica, como una manera de obligarse a pensar en este punto.

Evite los comienzos del tipo "en este trabajo se muestra...", y en especial el uso de las expresiones "propuesta" o "proponer", tan populares en el ambiente docente actual. Entre directamente en tema, se sobreentiende que usted está hablando sobre el trabajo presente.

El lector decide al leer el resumen si desea entrar en el artículo, y usted en esta sección es responsable de invitarlo. No de engatusarlo. Hace unos años les encargué a mis alumnos, que acababan de ingresar al Instituto Balseiro, que escribieran su primer informe según las reglas internacionales. Cuando leí los trabajos, me sorprendieron como un primer esfuerzo bastante bueno, a excepción de los resúmenes, los cuales eran uniformemente vagos, confusos y poco informativos. Como discutir el tema con cada uno me hubiera resultado muy repetitivo, inventé otra manera. La basé en el orden en que sospecho que se producen esos avisos de "antes y después" de los regímenes de adelgazar. Busqué un resumen del *Physical Review* que era una obra de arte por lo informativo, claro y conciso, lo traduje al castellano, y después lo corrompí

a una versión verbosa, vacía y superficial, que prometía todo y no entregaba nada.

En la próxima clase les planteé a mis estudiantes que tenía que decidir entre dos versiones distintas de un resumen y les pedí su opinión. Esperaba que, al oír la diferencia abismal entre las dos, se les enrojecerían las orejas, mirarían al suelo y aceptarían la enseñanza sin que nadie se sintiera personalmente humillado. Bueno, esas lecciones podrán funcionar con las almas sensibles que educaba M. Jacques en *Juvenilia*; los míos son de otra fibra: veintinueve de los treinta votaron por la versión chanta; el restante votó por la ejemplar, sin mayor convencimiento. Cuando me repuse de semejante tiro por la culata, les pregunté cómo podían preferir esa cháchara sin sustancia; me contestaron que porque "tiene más onda, te engancha mejor, del contenido ya te enterarás cuando leás el artículo".

Pensándolo bien, mis alumnos eran coherentes: habían votado por la clase de texto que ellos mismos habían producido. Interpretaban el resumen como las colas de las películas que van a dar la semana próxima, como un gancho al que nadie le exige contenido. A pesar del voto popular no es así; un resumen se lee para aprender algo, y con ese fin en vista hay que escribirlo.

9.3.1 Informativo o indicativo

El resumen de un artículo debería ser autónomo, pues se lo suele publicar solo, en programas de reuniones o en colecciones como el *Biological Abstracts*, el *Chemical Abstracts* o el *Physics Abstracts*. Estas últimas son publicaciones periódicas que sólo traen los índices y los resúmenes de las revistas de la disciplina. Les permiten a los investigadores enterarse de qué se está publicando en las revistas que no recibe su biblioteca.

Por lo tanto, el resumen no debe contener referencias a figuras o tablas que se encuentren en el artículo. Tampoco

debería contener referencias bibliográficas, a menos que el artículo esté enfocado en otro artículo anterior, como por ejemplo una mejora de un método ya publicado, o una crítica seria a otro trabajo.

Hay dos tipos distintos de resumen. El que he discutido hasta ahora es el *resumen informativo*: es un sumario, lo más fiel posible, del artículo. Esta clase de resumen es el que se escribe en un trabajo puntual, y en muchos casos alcanza con leer el resumen para tener los resultados que uno necesita. Muy probablemente, como su práctica de laboratorio tiene una meta muy definida, usted escribirá un resumen de este tipo en un informe de laboratorio, y brindará información tan detallada como este ejemplo:

La radiación de cuerpo negro remanente del Big Bang ha sido transformada por la expansión del Universo en el fondo cósmico casi isotrópico de microondas a 2,73 K. Inhomogeneidades minúsculas en el Universo temprano dejaron su impronta en el fondo de microondas en la forma de pequeñas anisotropías de la temperatura... Aquí informamos sobre las primeras imágenes de estructura resuelta... Computamos el espectro angular de potencia del fondo de microondas, y encontramos un pico en el multipolo de Legendre $I_{peak} = (197 \pm 6)$, con una amplitud $\Delta T_{200} = (69 \pm 8) \mu K$. Esto es consistente con lo esperado para modelos de materia oscura fría en un Universo plano (euclidiano), tal como lo prefieren los modelos inflacionarios estándar.

El otro tipo es el *resumen indicativo* o *descriptivo*. En él se indica cuál es el tema del artículo, sin entrar en detalles. No reemplaza al artículo, pero sirve para decidir si uno va a leerlo. Se suele usar en artículos de *review* o en otros de tema tan amplio que no se podrían explicitar los resultados.

Un resumen indicativo típico, traducido de *Science*, tiene la siguiente apariencia:

La esquizofrenia es una enfermedad mental debilitante que afecta al 1% de la población... Aquí brindamos un breve panorama de los enfoques paralelos que se están aplicando para identificar las causas moleculares de la esquizofrenia y discutimos direcciones posibles de la investigación futura.

Cualquier resumen real puede ser una mezcla de estos dos tipos. En particular, los *abstracts* de esos resultados futuros que uno envía a conferencias son posibles gracias a una fuerte componente indicativa.

9.3.2 Códigos en los resúmenes

Aunque un experimento de laboratorio generalmente es rutinario, un artículo de investigación debe demostrar su importancia. El autor recalca esa importancia cuando les explica a los lectores los motivos que lo llevaron a realizar el trabajo. En realidad estas oraciones están dirigidas a los referís y lo que intentan justificar es la publicación. Ya en el espacio reducidísimo del resumen el autor quiere hacer lo mismo, explicar qué importante es su trabajo. Para lograrlo suele acudir a *códigos* especiales[20]. Aunque usted no los use en sus informes, conocer estas claves le ayudará a entender los artículos que lea. Se basan en explotar retóricamente varias oposiciones de gran valor emocional en la ciencia, como por ejemplo:

Conocido/Desconocido El autor enfatiza que su trabajo penetra en lo desconocido, a través de expresiones como

Los biólogos han identificado 25 áreas, llamadas puntos calientes de biodiversidad, que son especialmente ricas en especies endémicas y que están particularmente amenazadas por

actividades humanas. La dinámica de las poblaciones humanas de esas áreas, sin embargo, no está bien cuantificada. Aquí informamos...

Viejo/Nuevo Los últimos trescientos años de ininterrumpido progreso científico nos han llevado, como a los perros de Pavlov, a reaccionar positivamente ante la mera *novedad* de lo que nos cuentan. Por justificada que esté en la práctica reciente, esta asociación no es natural. Basta recordar que los hombres del Medioevo reaccionaban justo al revés, después de siglos de retroceso cultural. Hoy en día reverenciamos lo reciente; el conocimiento más viejo se menciona no sólo para aclarar el contexto, sino también de una manera levemente despectiva, para hacer resaltar la actualidad de nuestro trabajo. Este progreso temporal se denota por medio de pares de palabras, como previo/presente, o por la transición del pretérito al presente, como en este caso:

El sistema gustatorio de los mamíferos puede sentir cuatro calidades básicas de sabor, amargo, dulce, salado y agrio, así como *umami*, el sabor del glutamato. Estudios previos sugerían que la detección de saborizantes amargos y dulces por parte de las células receptoras de sabor en la boca probablemente involucraba receptores acoplados a la proteína G... Aquí informamos sobre la identificación de una familia de candidatos a receptores de sabor...

Problema/Solución Otro de los méritos de la ciencia, y en especial de la técnica, es su capacidad de solucionar problemas. Por lo tanto, una táctica que se usa a menudo es

acentuar cómo el artículo viene a resolver un problema existente:

Después del descubrimiento por Kao y Hoc-kman de que fibras ópticas de pérdida ultra baja se podían fabricar de silicio puro por eliminación de impurezas, la capacidad de guiar señales eficazmente a longitudes de onda ópticas ha quedado asegurada. Pero subsiste una importante región del espectro —de 30 a 3000 GHz (la banda del milímetro y submilímetro)— donde no se conocen guías de onda de baja pérdida. . . Aquí mostramos que una combinación del material y la geometría de la guía de ondas puede soslayar esas dificultades. . .

9.4 El péndulo: el resumen

Para mi caso, escribí un resumen más bien indicativo, porque la relación que quería mostrar se adecuaba más a un gráfico (como la Figura 2) que a un número final. Si, como es común en los cursos básicos de laboratorio, el propósito de medir el período del péndulo hubiera sido determinar la aceleración de la gravedad, el resumen debería ser informativo. En él debería figurar el valor obtenido con su error, $g = 9,84 \pm 0,03 \text{ m/s}^2$. Lo que escribí fue lo siguiente:

El período de un péndulo simple es independiente de la amplitud de oscilación dentro de la aproximación armónica, válida para pequeñas amplitudes; para amplitudes mayores, el período aumenta. Usando materiales e instrumentos simples (una plomada de albañil, una cinta métrica y un cronómetro), se midió el período de un péndulo para amplitudes de oscilación de hasta un radián. Se

discuten en detalle las fuentes de error del método. El aumento asociado a amplitudes de hasta un radián se explica cuantitativamente, dentro del error experimental, con el primer término que despre- cia la aproximación armónica. Se estima hasta qué amplitud máxima se puede considerar constante el período, en función de la precisión con que se lo mida, y se proporciona un ábaco de tal amplitud.

Son cinco oraciones que cubren las cuatro preguntas del esquema IMRD, en un total de 121 palabras. Lo primero que se nota es el estilo impersonal: a pesar de que en el informe he usado la primera persona singular, en el resumen me retiro a un segundo plano. No dispongo de estadísticas, pero creo que esto es general. Aun aquellos de mis colegas que escriben en primera persona tienden a mantener un tono impersonal en sus resúmenes. Tal vez sentimos que el ambiente austero y seco del resumen no se presta al contacto humano implícito en la primera persona. De cualquier manera, un resumen en primera persona no está prohibido, pero vea qué le gusta a su cátedra.

Fíjese que en la primera oración he usado el presente para enunciar verdades establecidas, en la segunda he usado el pasado para lo que medí, y después he vuelto al presente para explicar lo que contiene el informe. Estoy explicando esta combinación *a posteriori*, después de verla sobre el papel. La escribí así porque así me sonaba bien. También debe haberles parecido correcta al par de colegas que la leyeron, ya que ninguno la criticó. La verdad es que no hay reglas estrictas. Bien podría haber escrito todo el resumen en pasado, o todo en presente. Como dije arriba, hoy en día la mayoría de los resúmenes se escriben en presente.

No he usado ninguno de los códigos que mencioné arriba para alabar el trabajo. A cambio he introducido otro código de gran peso en el ambiente docente: menciono “instrumentos simples”, y los enumero. Dada la pobreza de los laboratorios

escolares, un experimento con medios baratos adquiere una relevancia especial.

9.5 El título

El título de un informe es una etiqueta que lo identifica y describe. Hoy en día suele ser mucho más breve que en tiempos pasados. Recuerde que una etiqueta no necesita ser una oración completa, con sujeto, verbo y predicado. La longitud del título parece estar en relación inversa con la extensión del tema tratado: tanto *Biblia* como *Corán* significan simplemente *libro*. Algunos títulos tan cortos como *Mecánica clásica* o *Respuesta y estabilidad*, que tan bien describen a libros, serían demasiado lacónicos para artículos de una docena de páginas.

Por eso, el título es uno de los puntos más flojos de los informes de laboratorio. Como aquellos alemanes que numeraban sus chistes, mis estudiantes tienden a titular sus informes con el nombre de la práctica que describen: "Módulo de Young" o "Péndulo compuesto". Esto es comprensible: como el tema del trabajo de laboratorio ha sido impuesto por la cátedra, por lo general el informe se escribe con un espíritu de "aquí está lo que me pidió". Pero trabajar forzado no es la mejor manera de adquirir una habilidad básica. Finja que la situación es más libre, que en vez de asignarle la práctica de Módulo de Young su profesor hubiera sido Robert Hooke a fines del siglo XVII y que, después de comentarle que está empezando a creer que tal vez todos los cuerpos, por rígidos que sean, se deforman un poco cuando se tira de ellos, le hubiera propuesto investigar la cuestión experimentalmente. Su informe debería sorprender al mismo Hooke. Así pues, busque un título que no sea interno a la cátedra, sino que le describa a alguien de afuera lo que usted ha hecho.

Así como debería evitar los nombres de las prácticas, evite también los comienzos anticuados como "Estudio sobre..." o

"Algunas mediciones sobre...". Si usted no los evita, en un artículo lo hará el editor por usted: hoy muchas revistas ya no aceptan estos comienzos. Evite también las abreviaturas, la jerga especializada y las fórmulas químicas. Póngase en el lugar de alguien que esté buscando información sobre el tema de su artículo: ¿cómo la buscaría en un índice? Al elegir el título, usted puede ayudar mucho a quien tenga que componer tal índice y a los que busquen en él. Para eso, piense qué términos usaría si usted estuviera buscando información sobre su trabajo y trate de incluirlos en el título.

Muchas revistas incluyen, abajo del resumen, una lista de **palabras clave**, suministradas por el autor, que sirven para rastrear la información. En otras revistas se usan sistemas numéricos para clasificar la información, por ejemplo, en los llamados *PACS numbers* de Física, que también debe elegir el autor. Si la información queda mal archivada, el autor sólo se puede culpar a sí mismo. No he visto ninguna cátedra de Física Experimental que les pida a sus alumnos que se tomen el trabajo de clasificar sus informes de estas maneras, así que no creo que usted tenga que hacerlo. Aunque sería una buena idea; reflexionar acerca de dónde entra nuestro ladrillito en el sistema del conocimiento científico no vendría mal.

El título debe ser informativo y veraz. No está prohibido usar títulos atractivos e ingeniosos. Poco después del descubrimiento de los superconductores cerámicos, se discutía sobre si sus cargas llevaban dos electrones, como en los superconductores tradicionales, u otra cosa. El título de un artículo sobre esta cuestión fue un hamletiano *2e or not 2e?* Aunque espero que haya tenido las palabras clave correctas, porque sin ellas no sé cómo lo hubiera localizado alguien.

Pero si está en duda, por favor quédese con un título informativo y veraz, y nada más. Aunque arriba dije que no está prohibido usar títulos ingeniosos, sepa que la mayoría de las cátedras los odian cordialmente. Nunca, jamás, use esos títulos divertidos de jardín de infantes, como "Con el péndulo,

meta idas y vueltas", o "Cuando la amplitud es grande, hasta el mejor péndulo atrasa".

No quisiera desanimarlo, pero recuerde que el título es la única parte de su informe que mucha gente va a leer. Elíjalo con cuidado. Por suerte, esta elección será el último paso en la preparación del informe: comience a escribir con un título provisorio, por ejemplo, el de la práctica, y deje la elección del título definitivo para el final.

9.5.1 El péndulo: el título

En mi informe, consideré varios títulos como "Período de un péndulo para amplitudes grandes: validez de la aproximación armónica", "Período de un péndulo para amplitudes grandes y validez de la aproximación armónica", "Variación del período de un péndulo simple con la amplitud y la aproximación armónica", "El rango de validez experimental de la aproximación armónica en un péndulo simple" y "Variación del período de un péndulo con la amplitud: validez de la aproximación armónica". Me quedé con el último. No es gran cosa, pero da una idea adecuada del contenido del informe.

9.6 Los agradecimientos

Es cortés agradecer en el informe a aquellas personas que nos han ayudado en el trabajo, sin que su participación haya alcanzado para integrarlas como autoras, y a las instituciones que nos han apoyado. Esto se hace al final del artículo. Dado que los agradecimientos no forman parte de las conclusiones de un artículo, se deben incluir en una sección aparte, llamada *Agradecimientos*, o *Acknowledgments* en inglés, que quiere decir *Reconocimientos*. Suele estar antes de las referencias bibliográficas.

Si el trabajo del autor ha sido apoyado por varias instituciones, una manera de que ninguna se ofenda es nombrar

a una de ellas como dirección del autor, bajo su nombre al principio del artículo, y agradecer a las otras en esta sección.

Las becas, pasantías, etc., también deben mencionarse aquí, así como los nombres de cualquier persona que haya contribuido científica o técnicamente con el artículo. Siguiendo en la tónica glacial que ignora los sentimientos, no se incluyen las personas que nos han brindado su apoyo emotivo, aunque sí se lo hace en los libros.

En la convención usual, los números de sección llegan hasta las conclusiones. Los *Agradecimientos*, *Referencias* y *Apéndices* no llevan número, aunque los últimos se identifican por letras si son más de uno.

9.7 La bibliografía

La ciencia es una actividad cooperativa continua; cada artículo agrega muy poco a lo que ya se sabe o a las opiniones que se discuten. Como el contenido del artículo es escaso, debe ser corto. Es muy raro que sea autónomo; los autores se ven obligados a usar resultados ajenos, y no pueden extenderse en explicar todo lo que viene al caso. En tales circunstancias, la etiqueta científica obliga a citar explícitamente el trabajo ajeno. Así es que una parte inseparable de todo trabajo científico es una lista de referencias o *Bibliografía*. Tan de rigor es esta lista que su falta señala el trabajo de un forastero, de un extraño al sistema científico. Ninguno de esos manuscritos que llegan al Instituto Balseiro para instruirnos sobre los defectos de las teorías de Einstein o el origen de los platos voladores trae una lista de referencias: los chalados inventan todo ellos mismos.

Así pues, hay dos razones para citar los trabajos previos en que se apoya nuestro informe. Una es reconocer méritos y prioridades ajenas, la otra es ayudar al lector a reconstruir lo que nosotros sabemos.

Hay que reconocer que existen otras razones: el afán de mostrar erudición o de apuntalar un trabajo enclenque con reputaciones personales en vez de hechos. Aunque tan viles motivos no deberían impulsar a un científico, hay que reconocer que las listas de referencias serían mucho más cortas de lo que son si solamente las dos primeras razones las nutrieran.

En mi experiencia, es con las referencias bibliográficas que los principiantes tienen más dificultades. No es de extrañarse, ya que el interés meticuloso —y un poquito pedante— en quién ha hecho qué, y con qué documento lo prueba, es una característica de la erudición académica moderna. Los ingenieros parecen preocuparse mucho menos que los físicos por el tema. De cualquier manera, lo más probable es que su cátedra insista en que usted ponga empeño especial en distinguir lo que ha hecho usted mismo de lo que es mérito ajeno, y haga referencia explícita a esto último.

La forma actual más común de citar otros trabajos es incluyendo una llamada en el lugar preciso donde es oportuna. Las citas son puntuales, están localizadas, siempre dicen “exactamente aquí es pertinente esta otra información”. En un informe científico no se citan libros porque son interesantes en general, no se da una lista de “lecturas recomendadas” sin un punto fijo de aplicación. En verdad, hay casos en que se cita un documento, que suele ser un libro o un artículo de *review*, precisamente en esa vena: los lectores deberían leerlo si realmente quieren saber de qué estamos hablando. En ese caso se mantiene la convención de la referencia puntual y enfocada. Se lo llama en un punto adecuado, generalmente de la *Introducción*, con una frase del tipo “para una introducción actualizada al tema, ver el *review* de Ehrlich[3]”.

Esta llamada generalmente tiene la forma de un número entre corchetes (son mejores que los paréntesis, ya que no se los usa en el texto) o a veces de un supraíndice. Este número

indica el orden de aparición de las referencias en el texto. Por ejemplo, en mi informe sobre el péndulo se lee

Dos características notables del péndulo ideal o simple son que su período no depende ni de su masa ni de la amplitud de oscilación, α_{max} [1]

Ese [1] indica la primera referencia bibliográfica en el informe, al libro *Mecánica elemental* de Juan G. Roederer. Por supuesto, las referencias pueden repetirse: cuando en el párrafo siguiente vuelvo a citar el mismo libro, uso [1] nuevamente.

En un mismo punto pueden confluír varias llamadas, que se encierran entonces dentro del mismo par de corchetes. Si son discontinuas, o dos continuas, se las separa con comas. Por ejemplo, [1,3,4]. Si son más de dos continuas, se dan los extremos del rango, separados por una raya: [1,3–6,12] significa 1, 3, 4, 5, 6 y 12.

Hasta hace unos 30 años estos números eran llamadas a notas al pie de página, donde figuraban los datos del documento citado. Hoy en día todas las citas se juntan al final del artículo o informe, en una lista de referencias. Éstas se suceden en orden de aparición, precedida cada una por su número de referencia:

[1] Juan G. Roederer. *Mecánica elemental*. Eudeba, Buenos Aires, 2002.

No he escrito los datos del libro de cualquier forma, sino que he seguido un orden muy estricto. Veamos cómo se escriben las citas bibliográficas. He leído que alguien ha encontrado 33 distintos sistemas de citar la bibliografía al revisar 52 revistas científicas. Yo no lo he hecho, pero le creo. Ningún sistema es más correcto que otro, ya que todos son meras convenciones, aunque, como veremos, algunas características son más cómodas. Como todas las convenciones, su utilidad es proporcional al número de adherentes. Aquí describiré la que estoy

usando en este libro. Es posible que su cátedra prefiera otra convención algo distinta.

Las instrucciones principales dependen del tipo de fuente que se quiera citar. Las más usadas son:

Artículos Luego del número que identifica la llamada, se consignan los nombres de todos los autores, el último precedido por la conjunción “y”; punto; nombre completo del artículo; punto; nombre de la revista en bastardilla; coma; volumen; dos puntos; página inicial y final, separadas por un guión; (mes y) año. Por ejemplo:

[23] Robert A. Nelson y M. G. Olsson. The pendulum—Rich physics from a simple system. *American Journal of Physics*, 54:112-121, Febrero 1986.

La inclusión del título del artículo y de la página final son dos detalles que, si bien no son necesarios para ubicar una referencia, y representan un poco más de trabajo al escribirlas, resultan muy útiles para el lector. Los nombres de los autores se consignan tal como digo arriba, si no son más de tres. Si son cuatro o más, sólo se da el nombre del primer autor, seguido de *et al.* (latín *et alii*, “y otros”).

Libros Nombres de los autores según el formato de arriba; punto; nombre del libro entre en bastardilla; editorial; coma; lugar donde se editó; coma; año; volumen, capítulo y página si corresponden. Por ejemplo:

[14] Shang-keng Ma. *Statistical Mechanics*, Dover, New York, 1986, pág. 193.

Memorias de conferencias Se usa algo entre los dos anteriores: nombres de los autores; punto; nombre de la conferencia; página; lugar donde se realizó la conferencia; año. Por ejemplo:

[15] Leonor C. de Cudmani, Pablo Fontdevila. REF5, pág. 53, Mar del Plata, 1987.

No publicados También se suelen citar “comunicaciones privadas” y “trabajos no publicados”, aunque habría que reducir al mínimo la mención de fuentes a las que el lector no tiene acceso. Muchas revistas prohíben la inclusión de estas fuentes inaccesibles, creo que con razón.

Notas al pie de página Si usted ha tratado alguna vez de escribir notas al pie de la página con una máquina de escribir, le interesará saber que puede incluirlas en la lista de referencias:

[16] Los autovalores nulos no contribuyen a la suma de $\Sigma(\omega)$.

Si desea saber cómo ordena las referencias una revista en especial, consulte cualquier ejemplar reciente (el fluir es una constante también en esto), y vea cómo manejan los elementos que he detallado. Ahora ya sabe cuáles son los ingredientes necesarios en una cita bibliográfica completa. Aunque la convención haya cambiado, su presentación será profesional, pues incluye de manera sistemática toda la información relevante.

Hay un formato mucho más conciso para las referencias a artículos en revistas: *Phys. Rev.* **B35**, 5495 (1987). Sólo el esqueleto de información que permite localizar el artículo: abreviatura aceptada del nombre de la revista, volumen en negrita, página inicial, y año entre paréntesis. La usé más adelante (en la página 115) porque la cita no es importante, ya que no va a la lista de referencias, sino que sólo la incluí por si un lector quiere sacarse la duda. Esta forma breve es la que uno usa para anotar una referencia que quiere buscar en la biblioteca, sólo que, como la negrita es trabajosa de hacer

a mano, el volumen se subraya en las notas manuscritas, de esta forma: *Phys. Rev.* B35, 5495 (1987).

9.7.1 Bibliografía propia

Independientemente de cómo desee la cátedra que usted cite las referencias, a usted le conviene ir las coleccionando para su propio uso. Para ello las anotará en tarjetas de archivo, las incorporará en una base de datos en una computadora, o, si es un argentino normal, tratará de mantener todo en la memoria.

Créame que puede ahorrar mucho tiempo si mantiene un archivo en tarjetas o en una computadora. En su propio archivo, usted debería guardar más información que la que le pide la cátedra. En el caso de libros, anote toda la información sobre la editorial. Incluya además un campo con sus notas personales sobre el documento, pues pueden serle muy útiles más tarde. El autor no necesita verlas.

Mientras usted está escribiendo su informe, le conviene usar un sistema distinto para citar en el texto. Es el de nombre y año, tal como yo he hecho: “[roederer02]” significa que en ese lugar hay que introducir la llamada al documento (un libro en este caso) de 2002 cuyo primer autor es Roederer. Si su cátedra quiere las llamadas a las citas bibliográficas como números sucesivos, reemplace a “roederer02” por el número que le ha tocado en la lista de referencias sólo en la versión final del texto, y no antes. La razón es que la inclusión de cualquier otra referencia le causará un desbarajuste horrendo en los índices. Por supuesto, ni siquiera la versión final es segura, pues alguien le pedirá que agregue alguna referencia, y va a tener que hacerle caso.

Este sistema de nombre y año, complementado por letras si hay más de un documento del mismo año y primer autor [wood92a, wood92b], se suele usar en la versión final en algunas revistas inglesas. En nuestro ambiente parece ser popular

en Ciencias de la Educación. Cuando se lo aplica, las citas en la lista final se ordenan alfabéticamente, y no en orden de aparición. Me parece un sistema sensato, más cómodo que el de citas numeradas consecutivamente —¿porqué cambiar de sistema para la versión final?— y me gustaría que lo usáramos también nosotros.

De lejos, la forma más cómoda de citar la bibliografía es usando una base de datos en una computadora, y un programa inteligente que evite los problemas que acabo de mencionar. Como muchos de mis colegas, uso BIBTEX, un programa para bibliografía que funciona con L^AT_EX, que creo que es el mejor procesador para documentos que contengan fórmulas matemáticas. Aquí sí puedo recomendar programas, porque son del dominio público.

9.7.2 El péndulo: las referencias

En mi informe sobre el péndulo doy seis referencias. La lista de referencias en el informe del péndulo figura al final de éste. La primera referencia es a un libro de texto excepcional que debería ser la base común para entendernos con el lector, *Mecánica elemental* de Juan G. Roederer. La segunda es a otro libro fantástico, *The Physics of vibration*, de Brian Pippard, que contiene la deducción matemática detallada de la fórmula que yo uso. El libro es tan bueno que no creo que sea el texto de ningún curso. Las dos referencias me permiten hacer propaganda, decirle a mi público “éstos son los libros que ustedes deberían estar leyendo”.

La tercera es a una “comunicación personal” de mi colega Julio Guimpel, actualmente a cargo de la cátedra de Física Experimental I en el Instituto Balseiro. La mayoría de las revistas se oponen a este tipo de citas incontrolables, y tienen razón. Pero en un informe de laboratorio me parecen aceptables, pues el entorno es mucho más reducido.

La cuarta cita es a un libro de texto básico sobre teoría de errores, el famoso “libro de la locomotora”. En ese punto de la discusión me pareció oportuno citar un libro por si algún lector necesitaba refrescar sus conocimientos. De paso recomiendo otro buen libro.

Las dos últimas citas son a artículos de revistas. La quinta versa sobre con errores experimentales y cómo los tiempos de reacción estorban mucho menos de lo que podría temerse cuando uno mide a mano, un raro ejemplo de *antimurphy* experimental. La sexta cita refiere a un artículo que examina minuciosamente la complejidad de las distintas fuentes de error en el péndulo llamado *simple*. Estas dos citas provienen de dos revistas norteamericanas, *The Physics Teacher* y el *American Journal of Physics* respectivamente, que no deberían faltar en ningún instituto de formación de docentes en física. Mencionarlas es un deber moral.

No hay reglas fijas, pero un informe de laboratorio debería tener al menos dos citas. La primera de un libro de texto que discuta el problema básico. No apile referencias, cite sólo el mejor a su juicio. Si no tiene un juicio formado, lea un poco más y pregunte. La segunda debería remitir a un artículo puntual sobre el experimento que está haciendo. Si sólo dispone de una guía de laboratorio, pregunte a los docentes en dónde se inspiraron. Consulte las revistas y la Web. Por ejemplo, los índices y resúmenes, así como gran parte de los textos completos, de los artículos de las dos revistas que cité en el párrafo anterior están en la Internet y se pueden bajar.

Piense en sus citas bibliográficas como el contenido de la carpeta que le gustaría tener a mano cuando está trabajando en su experimento. Ese material es lo que usted se llevaría a la isla desierta para terminar el trabajo; no demasiado, porque pesa, pero lo suficiente para que no queden lagunas.

Capítulo 10

El tono del informe

Para escribir mejor hay que leer buenos autores, aconsejan los maestros. Lamento decir que las buenas lecturas no tienen mucho que ver con el estilo científico actual.

10.1 El estilo científico

Los científicos tratamos de que nuestros artículos suenen como el prospecto de un medicamento; cualquier otra cosa nos suena extravagante. Es probable que su profesor también insista en este tono farmacéutico. Con este estilo impersonal y desprovisto de drama o emoción, no es de asombrarse que nuestros textos resulten áridos y aburridos. Según dice Francis Crick, uno de los descubridores de la doble hélice del ADN[21], “No hay ninguna forma de prosa más difícil de entender y más tediosa de leer que el artículo científico promedio”.

En parte, este estilo tan desabrido es un legado de los fundadores de la ciencia moderna en el 1600. Se distanciaban como autores porque deseaban que sus experimentos hablaran por sí mismos. Como querían convencer con hechos, y no por la autoridad o el carisma del expositor, insistieron en usar un estilo “desprovisto de retórica”. La retórica es el arte de convencer con palabras. En su tiempo, esos escritos simples

y directos eran un alivio en medio de tanta prosa barroca. Hoy vemos que todos queremos convencer (si no, ¿para qué nos tomamos el trabajo de escribir?), que nosotros también usamos la retórica. Los padres fundadores sólo impusieron una variante lacónica y despojada[22, 23], que convencía por su misma aparente despreocupación por convencer.

El propósito de convencer sólo con los hechos es loable, pero se nos ha ido la mano. Como dice el físico N. David Mermin[24], un escritor excelente, tanto en la divulgación como en lo puramente técnico:

En los últimos cincuenta años más o menos, los científicos han permitido que las convenciones de expresión a que tienen acceso se tornaran demasiado confinantes. La insistencia en una suave impersonalidad y la indiferencia generalizada a todo lo que se parezca a la demostración de un autor humano individual en la exposición científica, no sólo han transformado la lectura de la mayoría de los artículos científicos en un acto de tediosa brega, sino que los han privado a los científicos de algunas herramientas poderosas para aumentar su claridad al comunicar asuntos muy complejos. Los científicos escribían bellamente en el siglo XIX y al comienzo del XX. Pero, en algún momento posterior, coincidiendo con el crecimiento explosivo de la investigación, el arte de escribir ciencia sufrió un grave revés, y descendió la creencia estúpida de que la mejor prosa científica debía sonar como un autor no humano dirigiéndose a un lector mecánico.

No estoy a favor de un destape romántico de sentimientos en los escritos científicos, sino que quiero advertirle dos cosas: por un lado, que usted va a tener que esforzarse por lograr ese estilo seco y tan poco natural que usamos; por el otro, que no

tiene por qué pensar que ese estilo *debe* ser así, o que a todos los científicos nos gusta.

10.2 El sonido de la objetividad

Sobre todo, en el discurso científico se trata de dar la impresión de *objetividad*. Esto se logra en gran parte a través del *tono*, la actitud del escritor hacia su tema, hacia la audiencia, y hacia sí mismo.

La elección de las palabras es de suma importancia para fijar el tono. El respeto al tema exige palabras que tengan un significado claro y específico. No acepte los sinónimos que le ofrecen los diccionarios de computadora. Serán palabras semánticamente cercanas, pero casi nunca se trata de verdaderos sinónimos: conocer y saber, arrojar y tirar.

Tenga especial cuidado con la *connotación* de las palabras, lo que evocan por detrás de su significado en el diccionario. Por ejemplo, al traducir la cita de Mermin más arriba, usé “no humano”, a pesar de que existe la palabra “inhumano”. Esta última tiene una connotación de crueldad que no correspondía. Otro ejemplo de la vida real: hace tiempo discutíamos varios físicos si había que usar “incerteza” o “incertidumbre” para el principio cuántico. Todos concluimos que incerteza era la correcta, porque ese “umbre” final nos hacía pensar en un sentimiento personal, en una duda a la Woody Allen, mientras que la *Unbestimmtheit* de Heisenberg es totalmente objetiva. Sin embargo, esta connotación evidente para nosotros debe ser rioplatense, ya que los españoles hablan del “principio de incertidumbre” tan campantes, con respaldo legal porque las dos palabras aparecen como sinónimos en el diccionario de la Real Academia. Por supuesto, las connotaciones dependen en gran medida del entorno cultural donde se ha criado cada uno, y de su oído: los buenos poetas saben aprovechar las connotaciones con una finura que sólo podemos envidiarles los demás.

Queda usted advertido, el diccionario es imprescindible, pero no basta.

El respeto a la audiencia exige tratarla con seriedad. Para dar la impresión de seriedad, se busca un léxico prestigioso: "intestinos" en vez de "tripas". En la teoría de probabilidades, nadie saca papelitos de un tarro o de un sombrero; extrae bolillas de una urna. En mi informe sobre el péndulo, mis oscilaciones podían ser pequeñas, pero nunca chicas.

Este mismo respeto hace aconsejable no emplear ironías o sarcasmos. Como hasta el chiste más inofensivo le resulta sospechoso a la gente sin humor, la mayoría de mis colegas insisten en eliminar cuidadosamente hasta el menor atisbo de levedad.

Las frases prestigiosas a veces son simplemente pomposas. Fíjese en la correspondencia oficial, cómo reemplazan la preposición "para" con "a fin de", tres palabras en vez de una, el significado tres veces diluido. Las ciencias sociales y de la educación generan mares de esta espuma prestigiosa, como "poblaciones escolares con necesidades básicas insatisfechas" por "niños pobres". El uso de términos prestigiosos cae fácilmente en la cursilería o la ridiculez. El mejor (en cuanto peor) ejemplo son las declaraciones policiales en la televisión, con esos masculinos cometiendo ilícitos. Como no quiero arrojar la primera piedra, en la página 116 tiene algunos clichés que nosotros mismos usamos en ciencias, junto con su real significado.

Otra característica del discurso científico es la cautela extrema. Si uno no puede probar algo, no lo afirma aunque esté convencido de que es cierto; lo condiciona con "es probable que" o "los resultados hasta este punto permiten suponer que". Cuando Watson y Crick anunciaron que finalmente habían desentrañado la estructura del ADN después de una competencia feroz, eran conscientes de que sus resultados iban a transformar la Biología. Sin embargo, comenzaron su artículo como pidiendo permiso para hacer una pequeña

aclaración: "Deseamos sugerir una estructura para la sal del ácido desoxirribonucleico (ADN)". No necesito decir que esta cautela nuestra los irrita mucho a los legos, que la interpretan como pusilanimidad.

Sobre el respeto del autor a sí mismo ya hablamos algo al discutir el nombre que usa el autor: los sobrenombres dan una impresión de puerilidad.

Una parte integral del tono objetivo buscado es la supresión de cualquier sentimiento. Esto implica no usar adjetivos que expresen un juicio emotivo, como feo, agradable, terrible, o aburrido. El físico N. David Mermin relata su forcejeo para referirse a una "encantadora monografía" en un artículo en el *Physical Review*. "Importante", o inclusive "interesante" a pesar de su subjetividad, eran potables para el editor, pero "encantadora" ya rebasaba los límites del decoro. Si quiere saber quién ganó la puja, véalo en *Phys. Rev.* **B35**, 5495 (1987).

El intento de eliminar los sentimientos personales desemboca en la supresión de la persona misma, en el uso de un estilo impersonal. Tal estilo, de rigor en mi juventud, afortunadamente se está resquebrajando (aunque siempre hay opiniones en contra). En aquellos tiempos se nos decía que los pronombres personales no tenían lugar en un texto científico, así que se usaba la voz pasiva ("las oscilaciones fueron medidas"), en general en la construcción reflexiva típica del castellano ("las oscilaciones se midieron"). Al igual que las firmas que afirman que en la elaboración de sus productos "no interviene la mano del hombre", los autores nos afanábamos por dar la impresión de que a nuestras investigaciones las producía la Ciencia en un proceso impersonalmente lógico. Como receta para producir textos aburridos, difícil encontrar una mejor.

En los últimos años ha medrado la superstición y la racionalidad ha pasado a la defensiva. La sociedad nos ha empezado a mezquinar los fondos para investigar, aún en los países centrales. Las exhortaciones a escribir de forma más clara y

humana antes venían de rebeldes como N. David Mermin, motivados por criterios estéticos. Ahora las publican órganos institucionales insospechables como *Nature*[25]; se fundan en la sospecha de que si ya no nos miman tal vez sea porque nadie nos entiende.

Todos los pedidos de claridad insisten en que usemos el estilo directo. La voz pasiva produce párrafos más largos y verbosos que la activa, y tiene menos fuerza. La investigación tiene sujetos, y el ponerlos en evidencia no la hace menos seria. Por el contrario, creo que compromete más al investigador, y el texto es indudablemente mejor si se usan los pronombres adecuados.

El plural está bien si los autores son varios; si se trata de uno solo suena pedante, y es mejor dejárselo a los reyes y a los editorialistas de los diarios.

Repito que no estoy abogando por que escribamos artículos confesionales o boleros lacrimosos. Pero sí creo que podemos escribir prosa científica más legible que la que leemos con trabajo todos los días, y que hacerlo podría ayudarnos a salir de nuestro encierro social.

10.3 Clichés usados en artículos de investigación

Ya hemos hablado arriba sobre la mesura y seriedad que deberían imperar en el discurso científico. Es cierto que la prosa en nuestras revistas es más directa, menos mendaz, que en otros campos, pero tampoco hay que creer todo lo que dicen nuestros colegas, o al menos hay que aplicarle un cierto factor de corrección. Las exageraciones o verdades a medias —que por supuesto no son medias mentiras— que se usan a diario son objeto de chacota en todos los laboratorios. A continuación figura una lista de algunas de las más conocidas en el campo de la Física.

Cuando escriben...

Es sabido que...

Se eligió el sistema W-Pb por considerárselo especialmente apropiado para mostrar el comportamiento predicho...

Se seleccionaron tres de las muestras para un estudio detallado...

Aquí se muestran resultados típicos...

Es de suponer que para tiempos más largos...

El acuerdo con la curva predicha es
excelente
bueno
satisfactorio
pasable
tan bueno como es dable
esperar

Se agradece a J. J. González por su asistencia con los experimentos y a P. V. Rodríguez por valiosas discusiones

... quieren decir

No me he molestado en buscar la referencia original.

El tipo del laboratorio de al lado tenía un poco ya preparado.

Los resultados de las otras no tenían pies ni cabeza así que los descartamos.

Se muestran los mejores resultados...

No tuve tiempo de comprobarlo...

pasable
pobre
dudoso
imaginario
inexistente

González hizo el trabajo y Rodríguez me explicó qué quería decir.

10.4 Escribiendo en castellano

Una vez que hemos decidido qué escribir, en qué orden y tono, llegamos al último problema: ¿cómo escribirlo? La respuesta es única: en buen castellano. Si queremos hacerlo en otra lengua, como mejor podamos. Todos los investigadores usan el inglés como lengua internacional de la ciencia.

La claridad, sencillez y brevedad son los patrones de la buena prosa, aunque en un artículo científico es la primera la que debe primar cuando haya que elegir. Einstein dijo que cuando uno persigue la verdad, le puede dejar la elegancia a los sastres. Pero él era un producto de los gimnasios alemanes de fin de siglo, y tenía una soberbia educación clásica. Su prosa científica es clara, límpida... y elegante. Si el lector de este artículo ha estudiado en escuelas argentinas, se puede suponer que no ha aprendido lo que aprendió el joven Einstein. La situación es grave, pero hay esperanzas. Leer, escribir y copiar son las claves.

En los laboratorios se dice que si no se puede hacer funcionar un aparato, como último recurso siempre se puede consultar el manual. Lo mismo sucede al usar el idioma castellano, un aparato tan complejo como el que más. Desgraciadamente, no viene con un manual del fabricante, pero se pueden conseguir algunas imitaciones que conviene tener a mano, como el *Libro de estilo* del diario español *El País*[26], *Secretos y sorpresas del idioma*[27], u *Ortografía de la lengua española*[28]. El *Pequeño Larousse Ilustrado*, o algún diccionario equivalente, no debería faltar en ningún laboratorio. El diccionario de la Real Academia Española se puede consultar en la Web.

Si usted tiene que escribir en inglés, existe un librito fantástico llamado *The elements of style*, de W. Strunk Jr. y E. B. White[29], que también está en la Web. Desgraciadamente no conozco nada semejante en nuestro idioma.

En castellano existen varios libros útiles para aprender los principios básicos de la redacción[30, 31, 32, 33]. Usted los

puede consultar o no, pero, haga lo que haga, hay un consejo que no debe olvidar nunca: al escribir aplique la **regla de la abuelita**. El primer párrafo de todo artículo y el primer capítulo de todo libro debería ser entendible para nuestra abuela. Esta regla se aplica en especial en las tesis: escriba una *Introducción* clara y accesible.

Basándome en los errores más frecuentes que les corrijo a mis estudiantes, le recordaré algunas reglas generales, que usted seguramente ya conoce.

Respecto al tiempo verbal en que se escribe un trabajo, la situación es bien compleja. En general, se habla en presente de datos y mediciones publicados, sean propias o ajenas, pues se las considera ya como partes integrantes del conocimiento científico, y, como tales, verdades eternas. Se suele usar el pasado para contar lo que hemos hecho en el trabajo actual: "... en todos los casos vimos que el recocido en atmósfera de oxígeno disminuía el ancho de transición..." evitando modestamente el presente y su certeza. Se usa el presente al referirse a relaciones palpablemente ciertas como "... la Figura 3 muestra la disminución del ancho de transición en función del recocido..." y en las conclusiones, donde los autores aseveran que lo que dicen debe ser considerado en el futuro como una verdad científica. Respecto al resumen, se lo suele escribir tanto en pasado como en presente, aunque el segundo es mucho más común.

Unas pocas líneas sobre cómo se subdivide un escrito. Recuerde que un informe es un texto único, relata una idea desde su concepción y justificación hasta su conclusión. No es una lista de ideas sueltas, como sí lo es un esbozo. Por lo tanto, trate de articular las oraciones unas con otras. Esto se logra con expresiones que las conectan, como "por lo tanto", "sin embargo", "en consecuencia". El uso de estas expresiones es muy propio del lenguaje académico.

Aunque las reglas sobre la puntuación no son matemáticas, y un elemento del estilo es precisamente la manera personal

de distribuir comas y puntos, aprenda las reglas que existen. Puntúe sus oraciones con cuidado. Cuando esté en duda sobre cómo seguir una oración, es probable que necesite un punto. Lea cada oración en voz alta: si no le alcanza el aliento para llegar al final, es demasiado larga. Conviene alternar oraciones breves y largas. Las breves, en medio de las largas; agilizan; las largas, entre las breves, mueven a recapacitar.

Dentro de cada oración, separe las subordinadas con comas, si corresponde, como en ésta o la última del párrafo de arriba. Use al menos un verbo por oración. Una oración sin verbo tiende a ser imprecisa, su sentido depende de la anterior; casi todas las que leo en informes son incorrectas. Aunque a veces es legítimo, usted no separe el sujeto del verbo con una coma, un error cada vez más común aun en libros publicados:

Por ejemplo, la reserpina, es una droga tranquilizante y antiesquizofrénica derivada del arbusto tropical *Rauwolfia serpentina*; la quinidina, es una droga empleada en contra de la arritmia cardíaca, y se deriva de *Cinchona pubescens* quien inclusive también produce quinina. . .

Las comas después de reserpina y quinidina son tan innecesarias como incorrectas; "quien" se debe usar sólo para personas, en su lugar debería ir un "que", precedido por una coma; las opiniones difieren sobre si usar o no el artículo antes de los nombres científicos de especies ("la *Cinchona pubescens*") [34].

No confunda el punto seguido con el punto y aparte. Este último se usa para separar párrafos, cada uno de los cuales puede contener varias oraciones separadas por puntos seguidos. Cada párrafo debería contener una idea. Si cambia de idea, inaugure otro párrafo. Trate de no escribir párrafos de más de unas diez líneas; si son muy largos se hacen difíciles de leer.

Unas pocas líneas sobre las palabras o expresiones que pueden dañar el texto. Trate de usar verbos puntuales para

reemplazar expresiones compuestas: es mejor "cambiar" que "producir cambios", "oscilar" que "realizar movimientos de vaivén". A propósito, el verbo "realizar" es un comodín que muestra la pobreza de nuestro vocabulario o nuestra pereza mental: reemplácelo por otro verbo. Como ya dije arriba, aquí se impone cautela si usted usa un procesador de texto: los diccionarios electrónicos que circulan nos presentan a la parentela de una palabra, hermanos, primos y tíos, pero casi nunca hermanos gemelos. Elija con cuidado. En especial, recuerde que tener y poseer no son sinónimos: mi auto tiene un motor a inyección, pero no lo posee. Yo los poseo a ambos, auto y motor, pero, como tengo hijos adolescentes (que no son de mi posesión), raramente los tengo.

Evite combinaciones innecesarias, como la tan común "una alternativa posible". Si no fuera posible, no sería una alternativa. Sea muy parco con los adjetivos y evite todos los que transmitan una evaluación emotiva. Evite también los adjetivos y adverbios difusos que tanto usamos en la vida diaria, como "bastante", "demasiado", o "más bien". "De repente" no significa "tal vez", sino "imprevistamente".

Evite palabras innecesarias. Los resúmenes suelen comenzar con un "En este trabajo. . ." totalmente innecesario. Es común leer en los *Agradecimientos* la expresión "Los autores desean agradecer a. . .". No necesitan pedir permiso a nadie, pueden escribir "Agradecemos a. . .," sin tantas vueltas.

También hay que estar en guardia contra los infantilismos como "la saturación es cuando. . .", que trata de definir con un ejemplo como los niños. Si usted está escribiendo en inglés, tenga cuidado con las oraciones que empiezan con "so", una construcción también típicamente infantil.

No está bien escribir como hablan los niños, pero hay que recordar que hay grupos mucho peores: no use ninguna expresión que hayan tocado los políticos o los periodistas radiales. Si queremos lograr un idioma claro para decir la verdad, no lo podemos buscar en esas fuentes.

Los gerundios raramente se emplean bien, y conviene reducir su uso. Por ejemplo, la variante burocrática obligada de esta oración sería "... , conveniendo reducir su uso", que es incorrecta. Una revista de medicina dice que "... yaciendo sobre el intestino, se puede ver ...". La verdad es que también se lo puede ver estando sentado, y con más comodidad.

Respecto al dequeísmo, ya sabemos que aparece por todos lados. Yo estoy convencido de que lo hace. No siempre el par *de que* es ilegal. Para evitarlo en su avatar infame basta con preguntar por la oración subordinada: ¿de qué estoy convencido?, pero ¿qué sabemos?

Debido al crecimiento de la Física, sus practicantes se ven obligados a adoptar muchas expresiones extranjeras. Palabras como chequear o fitear ya no merecen comillas, y si *scattering* tiene una traducción castiza, yo no quiero saberla. Pero debemos reconocer que hay palabras extranjeras que no sólo no son necesarias, son erradas: cuando un físico escribe "asumir" podemos apostar a que está suponiendo algo, y lo único que debería asumir es su incapacidad de probarlo. Y si vamos a traducir un texto extranjero sin citar las fuentes, hagámoslo bien. Es "anchamente conocido" que tal expresión no es castellana, sino una pésima traducción del inglés.

Las reglas anteriores, y todas las que usted puede recopilar con un poco de atención, se pueden resumir en una sola: escriba poniéndose en el lugar del lector. Y sobre todo, no deje que estas normas, ni ninguna otra, lo paralicen. Lo importante es comunicar lo que sabemos a colegas que lo necesitan.

10.5 Los errores más frecuentes

Los errores que veo a diario en informes de laboratorio son tan variados que clasificarlos excede mi capacidad, y de los que yo mismo cometo prefiero no hablar. Sin embargo, algunos son tan frecuentes que vale la pena dedicarles una corta discusión.

El primero es un error de registro, de tono: el autor escribe como quien está cumpliendo órdenes, y no siente la menor responsabilidad personal por lo que relata. Esta postura ya se nota en un título que es más bien una etiqueta, como "Ley de Ohm", o "Trabajo práctico 7".

El segundo error grave es la tendencia a hablar sobre lo que uno no ha hecho: quería medir tal cosa, pero resultó que la sensibilidad del método no me alcanzó. Por supuesto, cuando uno empieza hablando sobre lo no logrado, termina disculpándose. No lo haga, enfoque su informe sobre lo que sí logró, y presente de manera positiva sus limitaciones. A menudo, las limitaciones solamente son tales para un aprendiz. Los temas de los trabajos serios de investigación son muy limitados, pero en ciencia el reducir el campo y aumentar la profundidad es un *mérito* y no una falta. De hecho, para un investigador los temas típicos de los proyectos de ferias de ciencias son tan amplios, de una ambición tan desmedida, que ya a primera vista se puede ver que nadie podría llevarlos a cabo con seriedad.

Un error común es usar una descripción más cronológica que lógica. Está conectado con el error anterior, el autor relata sus propias experiencias más que la evolución de una idea.

Otro error común es usar la sección de *Discusión* para repetir simplemente los resultados. Ya hemos visto que la discusión de los resultados es algo más que su simple enumeración, es decir, qué piensa el autor que significa lo que vio.

Las referencias bibliográficas suelen ser muy inadecuadas. O faltan, o no están localizadas, es decir que tienen el carácter de "lecturas recomendadas".

Capítulo 11

Exposiciones personales

Es probable que como estudiante (y como profesional, seguro) usted tenga que presentar su trabajo personalmente. Puede ser de manera oral, en una charla o seminario, o de manera mixta, en un mural o póster. En este capítulo discutiré brevemente algunos consejos que según la experiencia general sirven para mejorar ambos tipos de presentación.

11.1 Presentaciones orales

A menudo un científico tiene que presentar sus hallazgos oralmente. Estas presentaciones les ocasionan pánico a los principiantes, por más que lo nieguen. La verdad es que los veteranos también sudamos frío de vez en cuando. Un par de consejos serán útiles para afrontar con éxito estas pruebas.

Las presentaciones orales tienen múltiples formatos, determinados básicamente por el tiempo que se le concede al expositor. En nuestros cursos de física experimental los estudiantes relatan un experimento en charlas de 15 minutos. En las conferencias científicas las exposiciones suelen durar de 10 a 15 minutos, mientras que las conferencias invitadas son de 45 o 50 minutos. Todas van seguidas de un período de preguntas, unos 5 a 15 minutos según el horario. Los organizadores

mantienen la disciplina, porque cualquier demora retrasa a los oradores siguientes. En los seminarios de división, que se hacen aislados, la exposición suele tomar unos 50 minutos, y el período de preguntas en general no tiene límite. Si se desea limitarlo, se sitúa la charla antes del almuerzo, para que el hambre disuada a los preguntones.

La primera regla en todas estas presentaciones es **aténgase estrictamente al horario**. Para ello hay que practicar la charla con un reloj en la mano, ante el espejo, o mejor aún ante compañeros. Trate de terminar un poquito antes del plazo establecido; esto siempre sorprende gratamente a la audiencia.

En muchas disciplinas —como las ciencias sociales— las conferencias se leen. El expositor se sienta ante una mesa, vaso de agua a mano, y lee una ponencia, palabra por palabra. En Física leer una conferencia es totalmente inaceptable: el orador lleva unas notas esquemáticas, y transparencias o diapositivas que le sirven como un esqueleto de la presentación, pero va improvisando a medida que habla, o finge hacerlo. Se mantiene de pie, como en una clase, y se mueve libremente por el podio.

Sin duda esta diferencia tendrá razones históricas, que ignoro. Una justificación del estilo improvisado que usamos en Física la da Lawrence Bragg en un artículo famoso llamado *El arte de hablar sobre ciencia*[35]. Según Bragg, y la mayoría de mis colegas están de acuerdo con él, una presentación oral tiene metas totalmente distintas que un artículo: “su objetivo primario es crear un estado de ánimo, o punto de vista, no transmitir información”. En efecto, uno lee y digiere un artículo lápiz en mano, tomándose todo el tiempo del mundo. La charla, en cambio, es efímera, no puede ser consultada, no se puede volver atrás para constatar lo que se dijo antes. En una palabra, no da tiempo a la reflexión. Esto no depende de la disciplina, vale tanto para la Sociología como para la Física. Bragg dice que una charla es un éxito si los oyentes pueden comentar al día siguiente “¿saben lo que escuché ayer?”.

Para lograr este efecto hay que concentrarse en relatar una sola historia, muy simple. En su artículo *¿Qué está mal en esas charlas de Física?*[36], N. David Mermin dice que en toda su larga carrera nunca ha escuchado una charla demasiado fácil, discute la imposibilidad de relatar un trabajo de meses o años en unos minutos, y sugiere que un tema que sí se puede tratar en el tiempo disponible es la motivación del autor, la pregunta “¿por qué me interesa este problema?”. Reconoce que ésta es una pregunta peligrosa, ya que uno podría no encontrar una respuesta. De cualquier manera, no intente transmitir toda la información que tiene en los pocos minutos de una charla. Sobre todo, tómese tiempo al principio y al final; si tiene que recortar material, es mejor sacarlo del medio. Un error común es empezar demasiado rápido, y llegar a un punto en que la audiencia ya no entiende nada. Ahí es imposible dar marcha atrás. Así pues, use el esquema IMRD, pero dedique la mayor parte de su tiempo a las puntas: a la introducción, en especial a la motivación, y a la discusión.

Use ejemplos muy simples y didácticos, aunque le parezca que pueden estar por debajo del nivel de la audiencia. En mi experiencia, las discusiones reales de laboratorio son extraordinariamente táctiles, las mejores ideas se pueden palpar. A los jóvenes no les gustan los ejemplos simples, pero los van apreciando al adquirir experiencia. Recuerdo un seminario sobre el efecto Bohm-Aharonov donde, mientras los jóvenes físicos discutíamos sobre el potencial vector y la fase de la función de onda, Werner Heisenberg preguntaba por qué iba a maullar el gato si nadie le pisaba la cola. Como doctorando recién ingresado al instituto de Heisenberg, pensé que el viejo no entendía nada. Después he cambiado de opinión.

Al igual que el propósito, el tono de una presentación oral también es muy distinto del tono escrito. En este último, como ya hemos visto, uno se esfuerza por lograr una perfección seca y lacónica. En la charla uno puede ser menos exacto, de hecho el estilo *debe* ser más coloquial, más... conversado. La

audiencia debería sentir que el expositor está pensando junto con ella. Si este efecto de diálogo no se logra, ¿cuál es el sentido de la presentación oral, para qué convocar al público a reunirse y escuchar, si el tema se puede leer más cómodamente a solas?

Las charlas admiten un poco de humor. El modelo norteamericano exige tres chistes, uno al comienzo para romper el hielo, otro al medio para despertar a los perdidos, y un tercero al final como despedida. No más. No se esfuerce por hacer chistes, sobre todo si usted es el más joven del grupo. Como en la presentación se relaja un poco el tono impersonal, usted puede mencionar muy al pasar algo de su perplejidad natural durante el trabajo. Una o dos de esas cáscaras de banana son suficientes para regocijar a la audiencia.

En su charla, usted casi seguramente usará transparencias, diapositivas, o un programa de presentación con la PC y un cañón de electrones para proyectar imágenes. Tenga en cuenta que cuanto más complejo sea el sistema, mayores son las probabilidades de falla, sobre todo en otro ambiente.

Si usa transparencias, los dibujos negros sobre fondo transparente son lo mejor. Si trabaja con un programa de PC o diapositivas (si es que todavía queda alguien que las use), son preferibles los dibujos o letras claros sobre fondo oscuro —por ejemplo, amarillo sobre azul marino, una combinación que cautivará a la mitad más uno de la audiencia—. Por favor, no use nunca esos efectos de letras de distintos colores que caen una a una del cielo, o los motivos florales cursis que tanto le gustan a Bill Gates.

La regla general es dar unos dos o tres minutos a cada imagen: en una charla de 10 minutos no muestre más de cuatro o cinco imágenes. Si usa tablas o gráficos, póngales títulos (en el informe escrito no los llevaban, porque tenían un pie explicativo). Otra diferencia con el informe escrito es que estos títulos deben explicar más las conclusiones que los hechos desnudos, ya que el ritmo que impone el expositor, por más

relajado que sea, no le da tiempo a la audiencia para extraer sus propias conclusiones.

En la primera imagen dé el título de la charla, mencione a los autores (usted al final), y agradezca el apoyo ajeno. Explique al comienzo cuál es el plan de la charla. Al final de la charla vendrán las preguntas (en las charlas de laboratorio, menos ajustadas en el tiempo, se hacen y contestan preguntas sobre la marcha) que tanto temen los principiantes. Si puede, contéstelas; si no, diga que no sabe y que lo va a pensar, pero hágalo rápido, evite los silencios largos. Recuerde que una charla no es un examen. Dejar picando una pregunta clave, y sacar un gráfico o resultado matador cuando alguien muerde la carnada es un truco muy usado. No lo use si no domina su material. Sobre todo, no pierda la paciencia, aunque alguien se ponga pesado al preguntar. En general están mostrando su propia sapiencia. Usted ya dijo lo suyo, no se meta en discusiones. Excútese mientras junta sus papeles, de manera que su lenguaje corporal diga “yo ya terminé, si no podemos irnos a tomar café es por culpa de este pelmazo”. Mantenga una sonrisa en los labios y sea cortés: a la audiencia no le gustan los preguntones impertinentes que tratan de mostrar cuánto saben ellos, y créame que los detectan antes que el expositor.

11.2 Murales

En los últimos treinta años se ha popularizado una forma de presentación mixta, el *mural* o *póster*. Se usa en conferencias donde hay más presentaciones que tiempo disponible. Las presentaciones, escritas en forma de carteles de aproximadamente un metro cuadrado, se cuelgan en lugares públicos, aulas, salas o corredores, para que el público pueda leerlas a sus anchas. Después de varias horas de exhibición, los autores se comprometen a pasar un cierto período definido —de 14:00

a 16:00, digamos— al lado de su obra y contestar preguntas de los transeúntes. El método permite mirar rápidamente muchos trabajos, leer con cuidado algunos pocos, y discutir sin límites de tiempo con los autores de los que realmente nos interesen. Un buen sistema, aunque a alguna gente no les gusta, tal vez porque extrañan el respeto obligatorio de la audiencia cautiva de una conferencia.

Nuestros estudiantes en el primer curso de Física Experimental en el IB se reservan una práctica (la más interesante) para exponerla como póster al final del cuatrimestre, en un día de casa abierta. Los colegas de todo el instituto visitan la muestra y discuten con los expositores. Éstos se ven obligados a responder a todas las preguntas y críticas, vengan de quien vengan. Es una manera excelente de ir fogueando a los jóvenes, la recomiendo calurosamente.

Como con los informes y las charlas, lo primero que tiene que averiguar usted es de cuánto espacio dispone, y atenerse a eso. No pida más, porque no se lo van a dar. Generalmente dispondrá del equivalente a dos pliegos de cartulina apaisados, uno debajo del otro. Ahí tiene que entrar todo su informe, en letra grande, de manera que se pueda leer cómodamente desde una distancia de unos 80 centímetros. Si la letra es difícil de leer, los espectadores se escapan. Siempre hay autores que se limitan a pegar fotocopias de su trabajo: de más está decir que no tienen mucho público. Repito: en un póster cabe mucho menos texto que en un informe común, por eso hay que producir una versión abreviada.

No crea que porque le han dado una franja de 90 cm de ancho en la pared usted puede llenarla hasta el suelo. Si los espectadores tienen que inclinarse para leer su texto, los pierde.

Organice su mural según el esquema IMRD, prescinda del resumen, acorte todo, y en especial la sección de *Métodos*. Indique brevemente el método usado, que si le interesa a alguien ya conversará con usted. Si su trabajo ha sido tema de

un artículo o informe, tenga copias a mano para regalarles la versión completa a los interesados.

Apéndice: el informe del péndulo

Se usan los apéndices para presentar al final del trabajo material que, o es necesario en el cuerpo del artículo pero su inclusión en él distraería de la ilación lógica, o no es necesario para el lector general pero que sería valioso para un especialista en el tema. En este apéndice incluyo el informe sobre el péndulo que hemos usado como ejemplo de ese orden desordenado en que se suelen escribir las distintas partes del trabajo. Ahora están todas juntas, en secciones numeradas consecutivamente. El informe del péndulo en sí no necesitó ningún apéndice, aunque tal vez se hubiera justificado agregar uno con la derivación matemática de la fórmula usada, que ya dije que no es fácil de encontrar.

Voy a aprovechar este apéndice para agregar dos palabras sobre el programa de computadora que he usado para escribir el informe. He compuesto este informe (y de hecho todo este libro) usando el \LaTeX , uno de los dialectos civilizados del \TeX , un programa de Donald Knuth para la composición tipográfica de textos[37]. Es especialmente adecuado para textos que contengan fórmulas matemáticas, por complejos que sean. No es fácil de aprender, pero vale la pena acostumbrarse a usarlo si se va a trabajar con textos largos, con citas internas.

En cuanto a la bibliografía, la maneja automáticamente el programa BibTeX, un paquete incluido con el \LaTeX . Los

índices se reordenan automáticamente al cambiar o añadir citas. Se puede cambiar el estilo de las citas con sólo cambiar una instrucción en el manuscrito electrónico.

Otra gran ventaja del \LaTeX es que es del dominio público, es decir, no es un producto comercial: puedo recomendarlo desde mi cátedra porque no le paga *royalties* a nadie.

He producido este manuscrito usando un procesador de texto normal en una PC. El \LaTeX se ocupa de la parte tipográfica, es decir, la estética; por lo cual el procesador de texto puede ser de lo más simple: sólo tiene que producir un archivo ASCII que instruye al \LaTeX sobre lo que debe hacer.

El uso de una computadora es ideal para revisar el trabajo, una labor inevitable. Tan fácil es corregir y reescribir en una PC que el proceso se hace continuo, y se torna difícil decir cuántas versiones se han escrito. En este caso he pasado por siete versiones, y no es nada raro hacer más. En un informe de laboratorio las críticas son menos severas que en un libro (aunque usted no lo crea, mis colegas tienen mucha más paciencia con sus estudiantes que con sus pares), pero trate de no entregar nunca la primera versión de un informe. Siempre se puede corregir un texto; seguro, alguna vez hay que abandonarlo, pero a la primera escritura todavía no.

Variación del período de un péndulo con la amplitud: validez de la aproximación armónica

E. N. Martínez

Instituto Balseiro, UN Cuyo
Centro Atómico Bariloche, CNEA
8400 Bariloche

15 de octubre de 2003

Resumen

El período de un péndulo simple es independiente de la amplitud de oscilación dentro de la aproximación armónica, válida para pequeñas amplitudes; para amplitudes mayores, el período aumenta. Usando materiales e instrumentos simples (una plomada de albañil, una cinta métrica y un cronómetro), se midió el período de un péndulo para amplitudes de oscilación de hasta un radián. Se discuten en detalle las fuentes de error del método. El aumento asociado a amplitudes de hasta un radián se explica cuantitativamente, dentro del error experimental, con el primer término que desprecia la aproximación armónica. Se estima hasta qué amplitud máxima se puede considerar constante el período, en función de la precisión con que se lo mida, y se proporciona un ábaco de tal amplitud.

1 Introducción

Dos características notables del péndulo ideal o simple son que su período no depende ni de su masa ni de la amplitud de oscilación, α_{max} [1]. La primera característica es exacta hasta donde sabemos, ya que se debe a la proporcionalidad entre la masa inercial y la gravitatoria. La constancia del período, en cambio, es una aproximación para amplitudes pequeñas, la llamada *aproximación armónica*; en realidad, el período *aumenta* levemente con la amplitud.

Generalmente el período de un péndulo simple de longitud l se da como $\tau_0 = 2\pi\sqrt{g/l}$, donde g es la aceleración de la gravedad[1]. En rigor, este valor es la aproximación para amplitud tendiendo a cero (de ahí el subíndice "0" para el período). Para amplitudes mayores, se puede obtener el período como un desarrollo en serie en la amplitud[2]:

$$\tau(\alpha_{max}) = \tau_0 \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \left(\frac{\alpha_{max}}{2} \right) + \dots \right). \quad (1)$$

Para amplitudes grandes, del orden de un radián, esta corrección es del orden de $\sin^2(1/2)/4 \approx 0,06$, o sea un 6%.

La dependencia del período con la amplitud suele llevar a confusión en los laboratorios elementales, cuando difieren dos mediciones sobre el mismo péndulo. Las discrepancias pueden deberse a técnicas experimentales incorrectas o a un efecto físico real. Resulta de interés práctico examinar cuáles son las técnicas experimentales correctas, cuál es el efecto real de la amplitud, cómo se lo pone en evidencia y, finalmente, cómo deben limitarse las amplitudes para eliminar las discrepancias.

En este informe muestro cómo el alargamiento del período resulta fácilmente medible en un péndulo de construcción casera, usando instrumentos simples. En la sección *Técnicas experimentales* relato cómo medí tiempos y amplitudes, y especialmente cómo estimé sus errores; en *Resultados* expongo qué obtuve. En la sección *Discusión* muestro que los resultados obtenidos se explican satisfactoriamente con la primera corrección al período discutida arriba. Como un resultado extra, discuto hasta qué amplitud se justifica la aproximación de un período constante, dependiendo de la precisión con que se mida este último, y la grafico en un ábaco de utilidad experimental.

2 Técnicas experimentales

Tal como se vio en la *Introducción*, aún para amplitudes tan grandes como un radián el alargamiento del período no supera un 6%. Esto obliga a medir el período con precisión de un 1% o mejor si se desean resultados cuantitativos. En lo siguiente explico cómo usé instrumentos simples para medir el período con una precisión mejor que el 1%. Los instrumentos son una plomada, un cronómetro digital y una cinta métrica.

2.1 Construcción del péndulo

Como péndulo usé una plomada común de hierro, de 510 g de peso, que colgué de un clavo de 5 pulgadas clavado horizontalmente en una viga de madera. El hilo era de algodón retorcido, el que normalmente traen las

plomadas al comprarlas. Até el hilo al clavo con un nudo ballestrinque. Éste es el nudo llamado "de albañil", corrido de manera que el punto efectivo de suspensión de la plomada quedara en la parte inferior del clavo (ver Figura 1a). Para reducir el estiramiento del hilo durante el experimento, ajusté el nudo firmemente, estiré el hilo varias veces, y dejé colgar la plomada una hora antes de medir su longitud. Medí la longitud del péndulo en dos operaciones: la primera, con una cinta métrica de acero, desde el borde inferior del clavo hasta el piso, una distancia de $247,3 \pm 0,1$ cm; la segunda, desde el piso hasta el extremo inferior de la plomada: la distancia era de $35,1 \pm 0,1$ cm. *Estimo* el error de cada una de estas medidas en 0,1 cm, la menor subdivisión de la cinta. Medí el largo total del péndulo en dos operaciones porque al hacerlo me encontraba solo: mientras que cada una de las operaciones me era posible, la diferencia no.

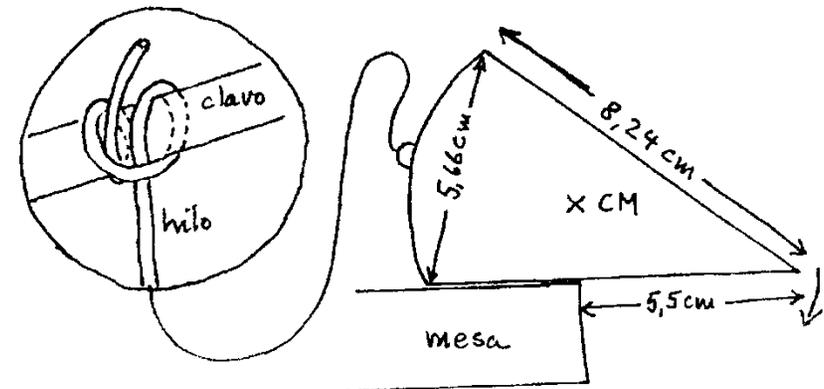


Figura 1: a) Detalle del nudo que sujeta la plomada. b) Dimensiones de la plomada y posición de su centro de masa.

Así pues, el largo del péndulo desde el punto de suspensión hasta su punta inferior era de $212,2 \pm 0,2$ cm. La longitud importante en un péndulo simple es la que va del punto de suspensión al centro de masa. Para determinar dónde estaba situado el centro de masa de mi plomada, la acosté sobre una mesa de fórmica con cantos nítidos, y la empujé de manera que su punta sobresaliera perpendicularmente del borde. La plomada comenzaba a perder el equilibrio, bajando la punta, cuando su centro de masa pasaba sobre el borde de la mesa. Esto sucedía cuando sobresalía $5,5 \pm 0,2$ cm del borde (error estimado por observaciones repetidas). Teniendo en cuenta el ángulo del cono (radio de la base, 2,58 cm,

largo del costado, 8,24 cm, ver Figura 1 b), *calculo* que el centro de masa (CM) estaba $5,8 \pm 0,2$ cm por arriba de la punta.

Con esto, obtengo $l = 206,4 \pm 0,4$ cm para el largo total del péndulo, desde el punto de suspensión hasta el centro de masa de la plomada.

2.2 Medición de tiempos y su error

Para medir los períodos usé un cronómetro digital (en los dos sentidos, ya que lo disparé manualmente). Medí los tiempos entre pasajes del péndulo frente a la marca en el mismo sentido. Como el péndulo pasa por estos puntos con su mayor velocidad, quedan mejor definidos en el tiempo. Si se dispara el cronómetro desde el extremo de la oscilación, los errores son aproximadamente el doble[3]. Para reducir los errores de paralaje al observar los pasajes del péndulo, marqué con cinta de enmascarar un lugar desde el cual sentarme a medir, situado a unos 3 metros del péndulo, perpendicular a su trayectoria, y mirando desde ahí marqué la proyección del péndulo en reposo sobre la pared opuesta, unos 2 m detrás del péndulo.

La forma más precisa de medir el período de una oscilación con un cronómetro es medir la duración de una serie de N oscilaciones completas, de la misma manera que el espesor de una hoja de papel se puede medir al 1% con una simple regla, midiendo el espesor de una resma entera y dividiendo por 500. El período es la N -ésima parte de la duración total, ya que las oscilaciones se suman sin interpenetrarse. El error en el período es la N -ésima parte de la incerteza en la duración de la serie total.

Para determinar estadísticamente las incertezas propias del procedimiento[4], medí 22 series de 20 oscilaciones cada una, con amplitudes menores que unos 7° . La dispersión estándar de estas medidas fue de 0,09 s, un valor típico para las circunstancias.

Esta dispersión es notablemente menor que la que se podría esperar. En efecto, la estimación usual supone que los dos extremos de la serie están afectados por un error igual al llamado "tiempo de reacción" del experimentador, y que, por lo tanto, el error para la duración de la serie es igual al doble del tiempo de reacción.

Para verificar esta suposición, cubrí con un papel las dos cifras del cronómetro a la derecha de la coma, lo disparé con el índice derecho y lo detuve cuando el 0 de las unidades pasaba a 1. La parte fraccionaria del tiempo que marcaba era mi tiempo de reacción. Repetí esto 115 veces y promedié mis resultados. Mi tiempo de reacción promedio fue de 0,30 s, con una dispersión estándar de 0,02 s.

La dispersión en las medidas de las oscilaciones es entonces mucho menor que el doble de mi tiempo de reacción, 0,6 s, y mucho más parecida

al doble de la *dispersión* en los tiempos de reacción, 0,04 s. Esto se debe a que los errores en los dos extremos de la serie no son independientes, como supone la estimación usual, sino que, por el contrario, están muy correlacionados[5]. Son errores, pero no estadísticos, sino principalmente sistemáticos, ya que ambos son *retardos*. El hecho de que la dispersión en los tiempos de oscilación sea aproximadamente el doble que 0,04 s probablemente se deba a que los momentos de pasaje del péndulo por la marca de referencia están determinados con menor nitidez que el cambio de la unidad en el cronómetro.

Puedo concluir que el error en mi medición de una serie de oscilaciones es de 0,1 s, redondeando el valor experimental. Midiendo series de 20 oscilaciones, el período del péndulo queda determinado con un error probable de 0,1 s/20, o sea, cinco milésimas de segundo. Es decir que, considerando mi propio error de reacción y apreciación, necesitaba medir series de alrededor de 10 oscilaciones si quería obtener el período con un error del orden de la centésima de segundo, y de 100 oscilaciones para bajar el error a una milésima de segundo.

3 Resultados

Para medir el período (y al mismo tiempo estimar su incerteza, tal como expliqué arriba), comencé por medir 22 series de 20 oscilaciones cada una, con amplitudes iniciales de 7° . La duración promedio y su dispersión estándar son $57,607 \pm 0,086$ s. Como éstos son valores intermedios, mantengo dos cifras significativas en la dispersión estándar. El período medido de una serie de 20 oscilaciones resulta entonces $2,880 \pm 0,005$ s, donde he redondeado la dispersión estándar a una sola cifra (para arriba) y consecuentemente el promedio hasta la misma cifra decimal.

Para determinar el período para amplitudes pequeñas con mayor precisión, medí dos series de 100 oscilaciones cada una, con amplitudes inferiores a 2° , que me dieron 290,72 s y 287,84 s respectivamente. Como las fuentes principales de error son las humanas consideradas arriba[6, 5], y éstas ocurren en los extremos de las series (salvo cuando se trata de errores al contar el número de oscilaciones), atribuí a estas series de 100 oscilaciones el mismo error, o sea 0,1 s (redondeado, dado que al tratarse de una suposición no tendría sentido mantener más de una cifra significativa).

Considerando esta estimación del error probable, resulta muy improbable que la diferencia entre los tiempos para las dos series de 100 oscilaciones se deba a una fluctuación estadística del orden de 30 desviaciones estándar. La diferencia tiene otro origen, tal como lo indica su valor, $2,880 \pm 0,2$ s (el error se duplica al restar), igual a *un período*. Cla-

ramente la serie más larga contiene un período más que la corta, debido a un error de conteo. Se puede descartar que la serie más corta contenga sólo 99 oscilaciones, y la larga 100, ya que en ese caso el período daría $2,907 \pm 0,001$ s, que supera al determinado anteriormente para 20 oscilaciones en más de cinco desviaciones estándar. Por lo tanto, se puede concluir que las series contienen 101 y 100 oscilaciones, por lo cual el período resulta $2,878 \pm 0,001$ s.

Las amplitudes grandes decrecen visiblemente en cada oscilación; por tal razón en ese régimen medí series de sólo 20 oscilaciones, para tres amplitudes iniciales. En la Tabla 1 figuran la amplitud inicial desde la que dejé caer el péndulo (medida con error despreciable) y la amplitud final *aproximada*, estimada con un error no mayor que 2° , correspondiente a unos 8 cm en la posición de la plomada.

A diferencia de las mediciones para amplitudes pequeñas, estos valores están medidos desde un extremo de la oscilación hasta el retorno al mismo punto. El error temporal con que quedan determinados los pasajes por estos puntos de retorno, debido a la velocidad nula de la masa en ellos, es aproximadamente el doble que cuando se mide el pasaje por la posición de equilibrio[3]. Por lo tanto *estimo* el error de estas series en el doble que al medir en la posición más favorable, o sea en 0,2 s.

La Tabla 1 resume los datos medidos, así como los valores calculados para el período.

amplitud (grados)		N	duración (s)	período τ (s)
inicial	final			
2	2	101	$290,72 \pm 0,1$	$2,878 \pm 0,001$
2	2	100	$287,84 \pm 0,1$	$2,878 \pm 0,001$
7	7	20	$57,607 \pm 0,086$	$2,880 \pm 0,005$
33	25	20	$58,81 \pm 0,2$	$2,94 \pm 0,01$
56	35	20	$59,56 \pm 0,2$	$2,98 \pm 0,01$
66	42	20	$60,73 \pm 0,2$	$3,04 \pm 0,01$

Tabla 1: Duración de series de N oscilaciones para distintas amplitudes iniciales, y los correspondientes períodos calculados. El valor para la amplitud inicial de 7 grados es el promedio de 22 medidas.

La expresión 1, escrita como la variación en el período relativa al período de amplitud nula

$$\frac{\tau_{\text{medio}}}{\tau_0} - 1 = \frac{1}{4} \sin^2\left(\frac{\alpha_{\text{media}}}{2}\right), \quad (2)$$

está graficada en la Figura 2 para los puntos medidos. Como aproximación a τ_0 he usado la medida para amplitudes menores, $2,878 \pm 0,001$ s.

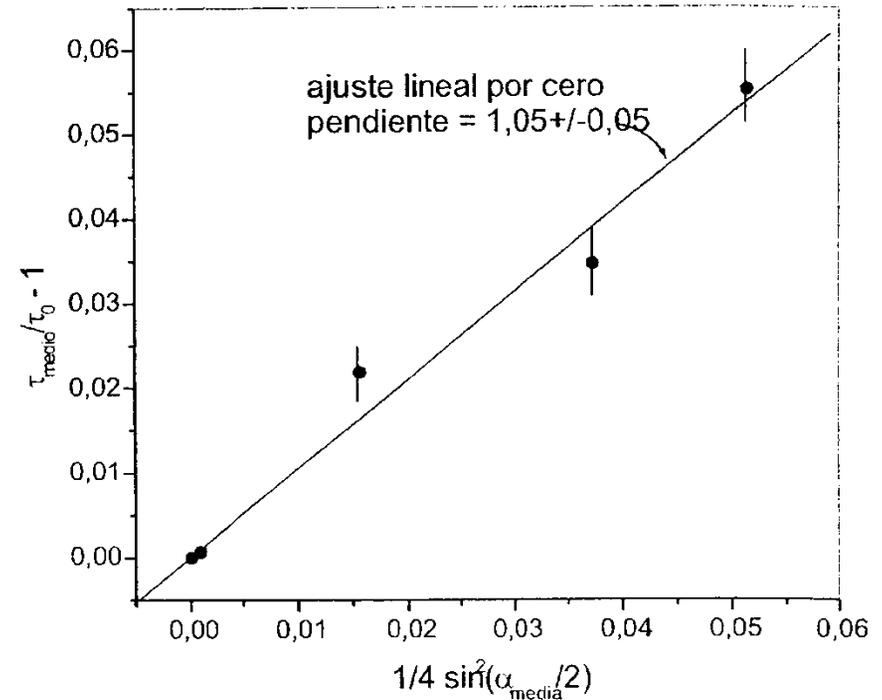


Figura 2: Los resultados medidos según la expresión 2: la variación del período promedio es aproximadamente lineal con el cuadrado del seno de la semiamplitud media. La pendiente de la recta que pasa por el origen, ajustada por cuadrados mínimos, es $1,05 \pm 0,05$.

Dado que las amplitudes varían gradualmente durante las series de amplitudes grandes, en el gráfico he atribuido el valor experimental a α_{media} , la amplitud promedio (la semisuma de las amplitudes inicial y final) durante la serie. Debido al error de 2° en la amplitud final, esta amplitud promedio tiene un error de al menos 1° . Afinar el cálculo y tomar en cuenta la real dependencia del período en la amplitud para promediar esta última nos llevaría más allá del nivel de discusión de este trabajo. Las barras de error verticales provienen de los errores estimados arriba para los períodos; el error para los dos puntos de amplitudes menores es menor que el tamaño de los símbolos usados.

4 Discusión

Ya las duraciones de las series de amplitudes grandes (Tabla 1) muestran sin ningún análisis cómo aumenta el período con la amplitud de oscilación. Sin embargo, dado que las mediciones para amplitudes grandes las hice después que las de amplitudes menores, parte del aumento del período podría deberse a un estiramiento del hilo del péndulo. Por esta razón *después* de medir las amplitudes grandes volví a medir 10 series de 20 oscilaciones cada una para amplitudes menores que 2° ; el período resultó ser igual a τ_0 dentro del error. Experimentalmente se puede descartar un estiramiento del hilo como causa principal del alargamiento del período.

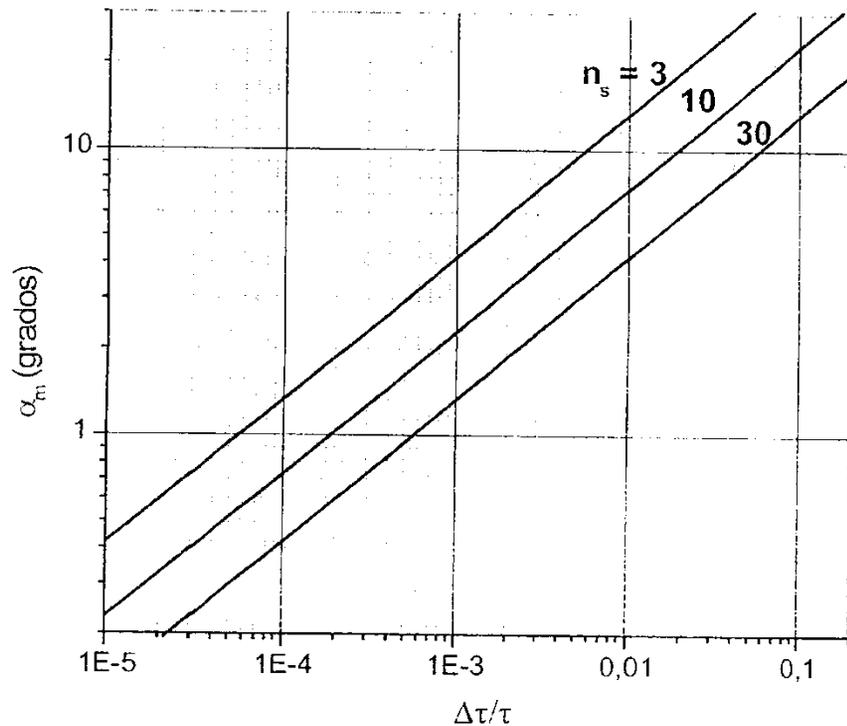


Figura 3: Amplitud máxima de validez de la aproximación armónica en función de la precisión relativa con que se mide el período, para tres valores del factor de seguridad n_s .

La Figura 2 muestra la recta que pasa por cero ajustada por cuadrados mínimos a los puntos medidos. Su pendiente es $1,05 \pm 0,05$, prácticamente igual a la unidad. Puedo concluir entonces que la primera correc-

ción que he considerado aquí explica satisfactoriamente la variación del período para amplitudes del orden del radián, dentro de la precisión del método usado.

Los resultados obtenidos permiten responder una pregunta de importancia práctica: ¿hasta qué amplitud es *experimentalmente* válida la aproximación armónica, es decir, hasta qué amplitud máxima *parece* constante el período? La respuesta naturalmente depende de la precisión con que se mida el período. La variación no se notará experimentalmente si es menor que una fracción del error en el período, $\Delta\tau/n_s$. Este "factor de seguridad" n_s podría ser del orden de 10. De esa manera, la máxima amplitud, α_m , sería

$$\alpha_m \approx 2 \arcsin \sqrt{\frac{4\Delta\tau}{n_s\tau_0}}, \quad (3)$$

que para un $n_s=10$ se traduce en aproximadamente $1,4^\circ$ (o 2° en términos prácticos) para períodos de unos 3 s, medidos con un error de 0,001 s, como en el caso presente.

La Figura 3 muestra la relación anterior en un ábaco que permite extraer la máxima amplitud de validez de la aproximación armónica según el criterio discutido aquí, en función de la precisión con que se mide el período del péndulo.

El uso de aparatos de medición algo más complejos, pero asequibles a casi cualquier laboratorio escolar, o un participante más, hubiera reducido los errores experimentales. Por ejemplo, si se hubiera disparado el cronómetro con una fotocpuerta, se hubieran reducido mucho los errores en los períodos. Esto hubiera permitido medir los períodos ya sobre una sola oscilación con una precisión de 0,001 s. Los resultados finales, mucho más precisos, probablemente hubieran hecho necesario incluir términos superiores del desarrollo en serie del período.

Referencias

- [1] Juan G. Roederer. *Mecánica elemental*. Eudeba, Buenos Aires, 2002.
- [2] A. B. Pippard. *The physics of Vibration. Volume 1. The simple classical vibrator*. Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- [3] Comunicación personal de Julio Guimpel. Errores en la medición del período de un péndulo. Cátedra de Física Experimental, Instituto Balseiro, Bariloche, 2003.
- [4] John R. Taylor. *An introduction to error analysis. Second edition*. University Science Books, Sausalito, California, 1997.

- [5] Robert Ehrlich y Mary Lynn Hutchison. Random and systematic errors in timing the fall of a coin. *The Physics Teacher*, 32:51-53, Enero 1994.
- [6] Robert A. Nelson y M. G. Olsson. The pendulum—Rich physics from a simple system. *American Journal of Physics*, 54:112-121, Febrero 1986.

Bibliografía

- [1] Mario Mariscotti. *El secreto atómico de Huemul*. Sudamericana/Planeta, Buenos Aires, 1985.
- [2] AIP Publication Board. *AIP Style manual*. American Institute of Physics, New York, 1990.
- [3] Robert A. Day. *How to write & publish a scientific paper*. Cambridge University Press, Cambridge, 1988.
- [4] Robert E. Vermillion. *Projects and investigations. The practice of Physics*. Macmillan Publishing Company, New York, 1991.
- [5] D. C. Baird. *Experimentation*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [6] George D. Gopen y Judith A. Swan. The science of scientific writing. *American Scientist*, 78:550-558, November-December 1990.
- [7] Michael Alley. *The craft of scientific writing*. Springer Verlag, New York, 1996.
- [8] Anne Waldron y Peggy Judd. *Physical Review style and notation guide*. American Physical Society, New York, 1983.
- [9] Michael Crichton. *La amenaza de Andrómeda*. Bruguera, Barcelona, 1975.

- [10] Editado por Herbert L. Anderson. *A Physicist's Desk Reference*. American Institute of Physics, New York, 1989.
- [11] Edward R. Tufte. *The visual display of quantitative information*. Graphics Press, Cheshire, Connecticut, 1983.
- [12] Christopher Deacon. The importance of graphs in undergraduate physics. *The Physics Teacher*, 37:270-274, May 1999.
- [13] John R. Taylor. *An introduction to error analysis. Second edition*. University Science Books, Sausalito, California, 1997.
- [14] John Strong y colaboradores. *Técnicas de física experimental*. Eudeba, Buenos Aires, 1965.
- [15] Peter Medawar. Is the scientific paper a fraud? En *The Threat and the Glory, Reflections on Science and Scientists*. Harper Collins, Publ., New York, 1990.
- [16] Luis W. Alvarez. A physicist examines the Kennedy assassination film. *American Journal of Physics*, 44:813-827, 1976.
- [17] James D. Watson. *The double helix: A personal account of the discovery of the structure of DNA*. Touchstone, New York, 2001.
- [18] Omar A. Bernaola. *Enrique Gaviola y el Observatorio Astronómico de Córdoba*. Ediciones Saber y Tiempo, Buenos Aires, 2001.
- [19] N. David Mermin. What's wrong with these equations? *Physics Today*, 27:9-11, October 1989.
- [20] Marilyn F. Moriarty. *Writing Science through Critical Thinking*. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, Massachusetts, 1997.

- [21] Francis Crick. *The astonishing hypothesis*. Scribner, New York, 1994.
- [22] Editado por Jack Selzer. *Understanding scientific prose*. University of Wisconsin Press, Madison, 1993.
- [23] Scott L. Montgomery. *The scientific voice*. The Guilford Press, New York, 1996.
- [24] N. David Mermin. *Boojums All the Way Through: Communicating science in a prosaic age*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- [25] Jonathan Knight. Clear as mud. *Nature*, 423:376-378, May 2003.
- [26] Equipo editorial de *El País*. *El País. Libro de estilo*. Ediciones El País, Madrid, 1990.
- [27] Luis Canossa. *Secretos y sorpresas del idioma*. Atlántida, Buenos Aires, 1961.
- [28] Real Academia Española. *Ortografía de la lengua española*. Espasa Calpe S. A., Madrid, 1999.
- [29] William Strunk Jr. y E. B. White. *The elements of style*. Macmillan Publishing Co., New York, 1979.
- [30] María Teresa Serafini. *Cómo redactar un tema*. Ediciones Paidós Ibérica, S. A., Barcelona, 1989.
- [31] Juan Carlos Kreimer. *¿Cómo lo escribo?* Planeta, Buenos Aires, 1989.
- [32] Daniel Cassany. *Describir el escribir*. Paidós, Buenos Aires, 1997.
- [33] Marcelo Di Marco. *Taller de corte y corrección*. Sudamericana, Buenos Aires, 1997.

- [34] Axel O. Bachmann. ¿Nombres propios, nombres comunes? *Ciencia Hoy*, 12 (67):17, Febrero-Marzo 2002.
- [35] Lawrence Bragg. The art of talking about science. *Science*, 154:1613-1616, December 1966.
- [36] N. David Mermin. What's wrong with those Physics talks? *Physics Today*, pages 9-11, Nov 1992.
- [37] Leslie Lamport. *LATEX. A document preparation system*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1985.

Esta edición
de 1000 ejemplares
se terminó de imprimir en
A.B.R.N. Producciones Gráficas S.R.L.,
Wenceslao Villafañe 468,
Buenos Aires, Argentina,
en mayo de 2004.