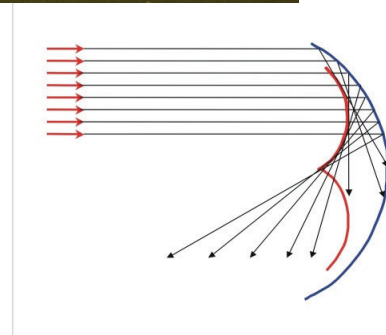
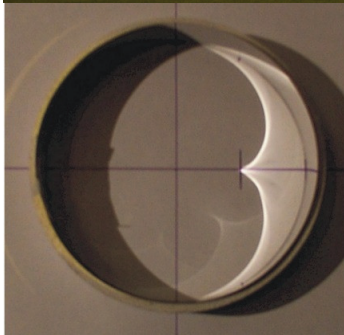


Experimentos de Física *de bajo costo, usando TIC's*

S. Gil



$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{dog}\rangle$$



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Experimentos de física, De bajo costo usando TIC's

Salvador Gil
UNSAM-Buenos Aires - Marzo2016
sgil@unsam.edu.ar

Prefacio: Objetivo del libro. Como usar este libro. A nuestros colegas. Encuadre filosófico, Enfoque pedagógico adoptado en este trabajo, Agradecimientos.

Parte I

Módulo I Introducción a las ciencias experimentales

Capítulo 1. Marco de referencia: Rol del laboratorio en el aprendizaje de las ciencias.
¿Por qué hacemos experimentos? Redacción de informes de laboratorio. Seguridad en el laboratorio.

Módulo II Análisis de datos y metrología

Capítulo 2. **Análisis gráfico de resultados**
2.1 Importancia de la representación gráfica
2.2 Elección de las variables
2.3 Relación lineal
2.4 Relación potencial
2.5 Relación exponencial
2.6 Transformación de variables – pseudovariables
2.7 Sugerencias para generar gráficos
2.8 Ejercicios y problemas

Capítulo 3. **Descubriendo leyes experimentales – Actividades**

Proyecto. 1 Relación masa – longitud de hojas de una planta.
Proyecto. 2 Experimentos con plantas reales
✓ Relación tamaño de una hoja y su masa.
✓ Relación tamaño de una fruta y su masa.
✓ Relación tamaño de una especie de mamífero y su longitud
Proyecto. 3 Buscando leyes de conservación en la naturaleza.
Proyecto. 4 Importancia del tamaño en Biología
Proyecto. 5 Frecuencia de aparición de palabras en los idiomas. Ley de Zipf
Proyecto. 6 ¿Por qué la primera página de una tabla o manual de la biblioteca es en general la más ajada? Ley de Benford

Capítulo 4. **Introducción a la teoría de errores Conceptos básicos de metrología – Incertidumbres de medición**

4.1 Introducción
4.2 Sensibilidad, precisión, y exactitud
4.3 Fuente de errores: apreciación, exactitud, interacción, definición.
4.4 Clasificación de los errores: sistemáticos, estadísticos, espurios

- 4.5 Cifras significativas
- 4.6 Determinación de los errores de medición- Resumen
- 4.7 Nonio, vernier o calibre
- ✓ Ejercicios y problemas
- Capítulo 5. Tratamiento estadístico de datos, Histogramas y estadística**
- 5.1 Introducción
- 5.2 Histogramas y distribución estadística
- 5.3 Parámetros de localización de una distribución
- 5.4 Parámetros estadísticos de dispersión- desviación estándar
- 5.5 Distribución Normal o Gaussiana
- 5.6 Magnitud que se mide N veces
- 5.7 Número óptimo de mediciones
- 5.8 Decálogo práctico
- 5.9 Combinación de mediciones independientes
- 5.10 Discrepancia
- 5.11 Resumen de conceptos importantes
- ✓ Ejercicios y problemas
- Proyecto. 7 **Construcción de Histogramas y estudio de distribuciones empíricas.**
- Proyecto. 8 **Histograma obtenido artesanalmente**
- Capítulo 6. ♣ Mediciones indirectas, Propagación de errores**
- ✓ Introducción - Propagación de incertidumbres
- ✓ Truncamiento de números
- ✓ Elección de los instrumentos
- ✓ Propagación de incertidumbres con variable correlacionadas
- ✓ Resumen de conceptos importantes
- ✓ Ejercicios y problemas
- Capítulo 7. ♣♣ Cuadrados mínimos y regresión lineal**
- ✓ Método de cuadrados mínimos. Regresión lineal
- ✓ Correlación y causalidad
- ✓ Incerteza en los parámetros de ajuste
- ✓ La navaja de Occam o criterio de parsimonia
- ✓ Resumen de conceptos importantes
- ✓ Ejercicios y problemas

Módulo III Experimentos Introdutorios

Capítulo 8. Medición de densidades.

- Proyecto. 9 El principio de Arquímedes I- Falsando una hipótesis
- Proyecto. 10 Método de Arquímedes para determinar densidades I
- Viaje al interior de la Tierra.
- Proyecto. 11 Estudio de la densidad y composición interna de la Tierra

Capítulo 9. Experimentos introductorios de mecánica: Péndulo simple y caída de los cuerpos- Fotointerruptores

- ✓ Fotointerruptores
- Proyecto. 12 Descubriendo las leyes del péndulo- Dependencia del período en función de la longitud del péndulo
- ✓ Experimento de caída libre: Movimiento uniformemente acelerado y determinación de g

- Proyecto. 13 Estudio del movimiento en caída libre
- Proyecto. 14 Determinación de g
- Proyecto. 15 Conservación de la energía
- Anexo B.** Ecuación de movimiento del péndulo simple
- Capítulo 10. La cámara digital como instrumento de medición en el laboratorio**
- ✓ Formas geométricas formadas por la sombra de una lámpara
- Proyecto. 16 Estudio de la sombra de una lámpara
- Proyecto. 17 Trayectoria de un chorro de agua
- Proyecto. 18 ♣Uso de video para estudiar la cinemática de un cuerpo - fuerza de roce viscoso en el aire
- Proyecto. 19 ♣Estudio de la cinemática del tiro oblicuo
- (i) Caso de roce despreciable
- (ii) Caso de roce apreciable – Integración numérica de las ecuaciones de movimiento
- Anexo B.** Régimen laminar y turbulento
- Anexo C.** Movimiento de caída en un medio fluido con roce proporcional a v^2
- Capítulo 11. La tarjeta de sonido de una PC como instrumento de medición**
- ✓ Tarjeta de sonido de las computadoras personales
- Proyecto. 20 Determinación de la aceleración de la gravedad usando señales de audio
- ✓ Ondas sonoras
- Proyecto. 21 Determinación de velocidad de sonido
- Capítulo 12. Midiendo el Sistema Solar desde el aula**
- Proyecto. 22 Determinación del tamaño de la Luna y su distancia a la Tierra - Aristarco
- Proyecto. 23 Estimación del radio terrestre
- Proyecto. 24 Determinación del tamaño de la Luna y su distancia a la Tierra – Hiparco
- Proyecto. 25 Distancia Tierra-Sol
- Proyecto. 26 Distancia Venus-Sol y Mercurio-Sol
- Proyecto. 27 Distancia a otros planetas
- Proyecto. 28 Aplicaciones a la Astronomía y a la Astrofísica. Leyes de Kepler y Ley de Hubble
- Proyecto. 29 Expansión de Universo y Big Bang. ¿Cómo sabemos esto? ¿Cuándo ocurrió?
- Anexo A.** Trayectoria de un rayo de luz en la atmósfera.
- Anexo B.** Períodos de la Luna

Parte II

- Módulo IV** Experimentos de Mecánica
- Capítulo 13.** Ley de Hooke
- Proyecto. 30 Determinación de la constante de un resorte
- Proyecto. 31 Propiedades elásticas de una banda elástica
- Proyecto. 32 Sistemas de resorte en serie y paralelo
- Proyecto. 33 Sistema elástico no lineal

Capítulo 14. Leyes de Newton y fuerza de rozamiento

- Proyecto. 34 Determinación del coeficiente de roce estático, μ_e
 Proyecto. 35 Determinación del coeficiente de roce cinético μ_d
Anexo A. Estudio del movimiento del sistema de dos cuerpos con roce seco

Capítulo 15. Oscilaciones libres y amortiguadas

- ✓ Oscilaciones libres y amortiguadas
 Proyecto. 36 Estudio del sistema oscilante - Oscilaciones libres
 Proyecto. 37 Oscilaciones amortiguadas – roce viscoso
 Proyecto. 38 ♣ Oscilaciones amortiguadas – roce turbulento
Anexo B. Oscilador armónico con fuerza de roce turbulento

Capítulo 16. Péndulos Físicos

- ✓ Período para amplitudes de oscilación pequeñas
 Proyecto. 39 Estudio de un anillo oscilante
 Proyecto. 40 Péndulo “No-Intuitivo”
 ✓ Péndulo reversible de Kater
 Proyecto. 41 Realización estándar de péndulo de Kater. Medición de g
 Proyecto. 42 Péndulo de Kater “casero”

Capítulo 17. Péndulo cicloidal – Braquistócrona y tautócrona

- ✓ Involutas e involutas
 ✓ Arreglo experimental
 Proyecto. 43 Péndulo simple – Variación del período con la amplitud
 Proyecto. 44 Péndulo cicloidal
 Proyecto. 45 Péndulo cicloidal perturbado- oscilaciones anarmónicas
 Proyecto. 46 Péndulo con evoluta semicúbica- Paradoja de la carrera

Capítulo 18. Oscilaciones forzadas – Resonancia en sistemas mecánicos

- Proyecto. 47 Oscilaciones forzadas

Capítulo 19. Parábolas y Catenarias

- Proyecto. 48 Cadena simple sujeta por sus extremos
 Proyecto. 49 Cadena con cargas

Capítulo 20. Propiedades elásticas de los materiales. Módulo de rigidez. Flexión de barras.

- Proyecto. 50 Medición del módulo de Young de alambres de cobre, acero, etc. por método de carga y descarga.
 ✓ ♣ Flexión de barras - Teoría de Euler-Bernoulli
 ✓ ♣ Barra empotrada con un extremo libre
 ✓ ♣ Vibraciones de una barra
 Proyecto. 51 Medición del módulo de Young de barras por método estático- Deflexión de barras. Medición cargas y flecha.
 Proyecto. 52 Deflexión de barras. Determinación de la forma mediante fotografías digitales cargas y flecha
 Proyecto. 53 Deflexión de una barra delgada. Determinación de la forma mediante fotografías digitales
 Proyecto. 54 ♣ Medición del módulo de Young de barras por método dinámico.
 Proyecto. 55 ♣♣ Medición del módulo de Young a partir del sonido emitido por la muestra al ser golpeada.

Capítulo 21. Dinámica de una cadena en movimiento

22.1 Cadena colgante del borde de una mesa o a través de un tubo

Proyecto. 56 Cadena colgante del borde de una mesa o a través de un tubo

22.2 Cadena en caída vertical – Estudio del movimiento de un saltador Bungee

Proyecto. 57 Cadena colgante en caída vertical- Saltador Bungee

Capítulo 22. Sistemas mecánicos de masa variable-Materiales granulares

✓ Flujo de materiales granulares

Proyecto. 58 Estudio experimental de los flujos agua y arena

Proyecto. 59 Influencia de la forma del recipiente en los flujos arena Estudio del flujo granular.

Proyecto. 60 Dependencia del flujo de arena con el área del orificio de salida.

Proyecto. 61 Determinación del momento de inercia de una polea.

Proyecto. 62 Máquina de Atwood con masa constante

Proyecto. 63 ♣♣ Máquina de Atwood de masa variable.

✓ Divertimento: Experimento de la taza y la llave

Proyecto. 64 ♣♣ Oscilador armónico de masa variable

Anexo B. Máquina de Atwood con masas constantes

Anexo C. Máquina de Atwood con masa variable

Anexo D. Oscilador de masa variable

Capítulo 23. Estudio de una barra en rotación- Estabilidad de las rotaciones

✓ Consideraciones sobre sistemas rotantes-no inerciales

Proyecto. 65 Estudio de una barra en rotación

Anexo B. Descripción teórica de una barra en rotación

Parte III

Módulo V Experimentos de Electricidad y Magnetismo

Capítulo 24. Circuitos simples de corrientes – Ley de Ohm

✓ Dependencia de la corriente con la tensión- Ley de Ohm

✓ Construcción de un divisor de tensión

Proyecto. 66 Determinación de las características voltaje-corriente de un conductor metálico. Ley de Ohm

Proyecto. 67 Resistencias en serie y en paralelo. Uso de un óhmetro

✓ Curva V-I usando un sistema de adquisición conectado a una PC.

Proyecto. 68 Determinación de las características voltaje-corriente una resistencia y un diodo.

✓ Entradas en modo común y diferenciales

Proyecto. 69 ¿Las lámparas incandescentes, obedecen la ley de Ohm?

Proyecto. 70 Determinación de las características voltaje-corriente una lámpara usando un sistema de adquisición de datos.

✓ Modelo de una Fuente – Teorema de Thévenin y Norton

Proyecto. 71 Modelo de una fuente

Anexo B. ♣ Resistencia interna de Voltímetros y Amperímetros Resistencia interna de los amperímetros.

✓ ♣ Error sistemático introducido por los voltímetros.

✓ ♣ Error sistemático introducido por los amperímetros.

✓ ♣♣ Determinación de la resistencia interna de amperímetros y voltímetros:

Capítulo 25. Redes de resistencias

Proyecto. 72 Redes de resistencias en 1D – Relación de Fibonacci

Proyecto. 73 Resistencias de grafito o realizada con una impresora de chorro de tinta

✓ Redes de resistencias en 2D-Modelo

Proyecto. 74 Redes de resistencias 2D

Capítulo 26. Puente de Wheatstone y puente de hilo

✓ Introducción

Proyecto. 75 Estudio experimental del puente

✓ Puente de hilo

✓ Precisión del puente de hilo

✓ Incertidumbres en las mediciones con puente de hilo:

Proyecto. 76 Determinación del valor de una resistencia incógnita usando un puente de hilo

Capítulo 27. Método de las cuatro puntas o método de Kelvin para medir resistencias y resistividad

✓ Determinación de resistencias de bajo valor

✓ Método de las cuatro puntas o método de Kelvin

✓ Medición de la resistividad de una muestra geometría simple-caso 1D.

Proyecto. 77 Medición de la resistividad de un alambre por el método de las cuatro puntas

✓ Determinación de la resistividad de una muestra bidimensional

Proyecto. 78 Determinación de la resistividad de una muestra plana

✓ Método de van der Pauw- transresistencias – Muestra plana

Proyecto. 79 Determinación de la resistividad de una muestra plana pequeña

✓ Muestra tridimensional grande, método de Wenner

Capítulo 28. Variación de la resistencia con la temperatura

✓ Modelo simple de conducción en sólidos

Proyecto. 80 Variación de la resistencia con la temperatura de un alambre metálico por el método de las cuatro puntas

Proyecto. 81 Variación de la resistencia con la temperatura de una aleación metálica

Proyecto. 82 Variación de la resistencia con la temperatura de un termistor

Anexo B. Modelo simple de conducción en semiconductores

Capítulo 29. Conducción en líquidos – Estimación de la carga del electrón

✓ Modelo simple de conducción en líquidos-Electrólisis

Proyecto. 83 Conductividad de un líquido - estudio semicuantitativo

Proyecto. 84 Conductividad de un líquido – Relación Voltaje-Corriente

Proyecto. 85 Conductividad de un líquido – Efecto de la temperatura

Proyecto. 86 Estimación de la carga del electrón

Capítulo 30. Condensadores y dieléctricos

Proyecto. 87 Condensadores en serie y paralelo, instrumental y mediciones básicas

Proyecto. 88 Condensador de placas planas paralelas. Variación de la capacidad con la geometría

Proyecto. 89 Variación de la capacidad con el medio dieléctrico

Capítulo 31. Circuito RC

✓ Circuito RC

Proyecto. 90 Carga y descarga de un condensador usando un sistema de adquisición de datos conectado a una PC

Proyecto. 91 Determinación de la resistencia interna de un voltímetro o sistema de adquisición de datos

Proyecto. 92 Circuito RC Respuesta estacionaria. Señal cuadrada

✓ Circuito RC excitado- repuesta forzada

Proyecto. 93 Circuito RC Respuesta estacionaria. Señal de excitación sinusoidal

Anexo B. Determinación de la diferencia de fases entre dos señales

Capítulo 32. Fuerza de Lorentz , ley de Ampère

✓ Fuerza entre dos espiras circulares

Proyecto. 94 Estudio de la fuerza magnética entre dos espiras circulares

Capítulo 33. Ley de Ampère – Ley de Biot-Savart – Mediciones de campo magnético

✓ Introducción

Proyecto. 95 Campo magnético terrestre (usando una Brújula)

Proyecto. 96 La brújula como magnetómetro. Campo magnético axial de una espira sensor de efecto Hall

✓ Medición de campos magnéticos usando un sensor de efecto Hall

Proyecto. 98 Campo magnético de un imán permanente

Proyecto. 99 Estudio del campo magnético de un par de Helmholtz

Capítulo 34. Ley de inducción de Faraday – Inducción mutua

Proyecto. 100 Ley de Faraday I - Análisis cualitativo

Proyecto. 101 Ley de Faraday II - Análisis cuantitativo

Proyecto. 102 Ley de Faraday III - Variación de número de espiras

Proyecto. 103 Campo magnético de una espira a lo largo de su eje, usando la ley de Faraday

Proyecto. 104 Campo magnético de una espira a lo largo de su eje usando un lock-in amplifier

Proyecto. 105 Ley de Faraday – Paradoja electromagnética o ¿Qué miden los voltímetros?

Capítulo 35. Autoinducción y circuito RL

✓ Autoinducción

Proyecto. 106 Característica voltaje-corriente de una autoinductancia

✓ Circuito RL – repuesta transitoria

Proyecto. 107 Tiempo característico del circuito RL

✓ Circuito RL conectado a una fuente alterna

Proyecto. 108 Respuesta del circuito RL en frecuencia

Anexo B. Estimación del valor de la autoinductancia de una bobina

Capítulo 36. Caída de un imán permanente por un tubo conductor

✓ Oscilación de un imán permanente en un campo uniforme

✓ Determinación del momento magnético de un imán permanente

Proyecto. 109 Determinación del momento magnético de un imán permanente dentro de una bobina de Helmholtz

✓ Pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira.

Proyecto. 110 Estudio experimental de pulsos inducidos por un imán al atravesar una espira

✓ Caída de un imán por un tubo conductor

Proyecto. 111 Caída de un imán permanente por un tubo conductor I

Proyecto. 112 ♣ Caída de un imán permanente por un tubo conductor II

- Capítulo 37. Campos y potenciales electrostáticos – Ecuación de Laplace.**
 ✓ Resolución numérica de la ecuación de Laplace, método de relajación
 ✓ Condiciones de borde de Dirichlet y Neumann
 Proyecto. 113 Análisis semi-cuantitativo
 Proyecto. 114 Análisis cuantitativo – Método de relajación I
 Proyecto. 115 Análisis cuantitativo – Método de relajación II
 Proyecto. 116 Estimación del vector campo eléctrico
- Capítulo 38. Oscilaciones eléctricas – Circuitos RLC serie. Oscilaciones libres y forzadas.**
 ✓ Oscilaciones libres
 ✓ Diagrama de fase
 Proyecto. 117 Respuesta del circuito RLC libre subamortiguado
 ✓ Oscilaciones forzadas
 ✓ Reactancias e impedancias complejas
 Proyecto. 118 Respuesta del circuito RLC forzado
 Proyecto. 119 Respuesta del circuito RLC en paralelo – Resonancia
 ✓ Sistemas Lineales
 Proyecto. 120 Respuesta del circuito RLC forzado a una excitación cuadrada y triangular
- Capítulo 39. Circuitos RLC acoplados y circuito no lineales Oscilaciones acopladas.**
 ✓ Circuitos RLC acoplados libres
 ✓ Circuitos RLC acoplados forzados
 Proyecto. 121 Determinación de la inductancia mutua $M(x)$ como función de la separación de las bobinas
 Proyecto. 122 Caracterización de la curva de resonancia usando un sistema de adquisición de datos
 Proyecto. 123 Caracterización de la curva de resonancia usando un lock-in amplifier
 Proyecto. 124 Respuesta del circuito RLC-C
 Proyecto. 125 Circuitos RLC acoplados. Efecto Wigner–von Neumann de repulsión de frecuencias
- Capítulo 40. Corrientes de Foucault o corrientes parásitas.**
 ✓ Campos electromagnéticos cuasiestacionarios en conductores
 ✓ Apantallamiento electromagnético – simetría cilíndrica
 Proyecto. 126 Apantallamiento electromagnético I– simetría cilíndrica
 Proyecto. 127 Apantallamiento electromagnético II– Lock-In.
 Proyecto. 128 Apantallamiento electromagnético III- Placas planas
 ✓ Efecto piel o pelicular
 Proyecto. 129 Variación de la resistencia de un alambre con la frecuencia- I.
 Proyecto. 130 Efecto piel en un alambre, expulsión del flujo magnético.
Anexo B. Teoría del efecto pelicular
Anexo C. Funciones de Bessel

Parte IV

Módulo VI Experimentos de Ondas y Óptica

- Capítulo 41. Ondas estacionarias en una dimensión**
 ✓ Ondas estacionarias en una cuerda

Proyecto. 131	Ondas estacionarias en cuerdas
✓	Ondas estacionarias en tubos (Tubo de Kuntz)
Proyecto. 132	Ondas estacionarias en un tubo semicerrado - Tubo de Kundt
Proyecto. 133	Efecto de la variación de la longitud del tubo
Proyecto. 134	♣♣ Estudio de las resonancias en un tubo usando un Lock-in Amplifier
Anexo B.	Accionador mecánico de frecuencia variable
Anexo C.	Ondas de presión unidimensionales
Capítulo 42.	Interferencia de ondas acústicas. Batido
✓	Principio de superposición
✓	Batido
Proyecto. 135	Escuchando la superposición de ondas-Batidos
Proyecto. 136	Experimentos cuantitativos – Batido
Capítulo 43.	Caja cuadrada - Resonadores de Helmholtz
✓	Ondas estacionarias en una caja cuadrada
Proyecto. 137	Ondas estacionarias en una caja
Proyecto. 138	♣♣ Ondas estacionarias en una caja usando un Lock-in Amplifier
✓	Resonancia de una botella - resonador de Helmholtz
Proyecto. 139	Resonancias en una botella. Resonadores de Helmholtz I
Proyecto. 140	Resonadores de Helmholtz II
Capítulo 44.	Ondas de ultrasonido
✓	Ultrasonido
✓	Par ultrasónico
Proyecto. 141	Respuesta en frecuencia un par ultrasónico
Proyecto. 142	Determinación de la velocidad del sonido
✓	Propiedades físicas de las ondas de ultrasonido
Proyecto. 143	Óptica geométrica y física con ultrasonido
Capítulo 45.	Efecto Doppler
✓	Efecto Doppler –Introducción
✓	Fuente en movimiento circular
Proyecto. 144	Estudio del efecto Doppler de una fuente sonora en movimiento circular
Proyecto. 145	Estudio del efecto Doppler de una observador en movimiento circular
Capítulo 46.	Experimentos de óptica geométrica
✓	Óptica geométrica- Leyes de la reflexión y refracción
Proyecto. 146	Estudio de la reflexión y la refracción
Proyecto. 147	Reflexión total interna
✓	Lentes delgadas
Proyecto. 148	Lentes convergentes – Observaciones cualitativas I
Proyecto. 149	Propiedades de las lentes – Observaciones cualitativas II
Proyecto. 150	Lentes convergentes – Estudio cuantitativo
Proyecto. 151	Método sencillo para estimar f de una lente divergente
Proyecto. 152	Método cuantitativo para estimar f de una lente divergente
Capítulo 47.	Experimentos de óptica física
✓	Difracción e interferencia de la luz. La luz como fenómeno ondulatorio
Proyecto. 153	Difracción por una rendija o un alambre fino
✓	Determinación de intensidad de un patrón
Proyecto. 154	Distribución de intensidad de las figuras de difracción
Proyecto. 155	Interferencia por dos rendijas o más rendijas

- Proyecto. 156 Medición de λ usando redes de difracción
 ✓ Polarización – Ley de Malus
 Proyecto. 157 Ley de Malus

Módulo VII Experimentos con fluidos y física térmica

- Capítulo 48.** Tensión superficial
 ✓ Fuerzas de cohesión y adhesión
 ✓ Ascenso capilar
 Proyecto. 158 Determinación de la tensión superficial por ascenso capilar
 Proyecto. 159 Ascenso capilar por una pared en forma de cuña
 Proyecto. 160 Estimación del Número de Avogadro

- Capítulo 49.** Experimentos con Fluidos – Experimento de Torricelli
 ✓ Fluidos ideales y teorema de Bernoulli
 ✓ Fluidos viscosos
 Proyecto. 161 Forma de un chorro de agua
 ✓ Experimento de Torricelli
 Proyecto. 162 Trayectoria de un chorro de agua. Velocidad de salida
 Proyecto. 163 Tiempo de vaciamiento de un recipiente
 Proyecto. 164 Experimento de Torricelli
Anexo B. Tiempo de evacuación de un recipiente
Anexo C. Vena Contracta
Anexo D. Teorema de Torricelli, modelo teórico

- Capítulo 50.** Termometría – Sensores de temperatura
 ✓ Termómetros- sensores de temperatura
 Proyecto. 165 Calibración de un termómetro de gas
 Proyecto. 166 Calibración de un termopar
 Proyecto. 167 Calibración de una RTD
 Proyecto. 168 Termómetro basado en un diodo
 Proyecto. 169 Termómetro basado en un circuito integrado

- Capítulo 51.** Dilatación térmica de sólidos
 ✓ Dilatación térmica
 Proyecto. 170 Determinación del coeficiente de dilatación térmica I
 Proyecto. 171 Determinación del coeficiente de dilatación térmica II

- Capítulo 52.** Ley de enfriamiento de Newton
 ✓ Propagación del calor
 ✓ Enfriamiento de un cuerpo
 Proyecto. 172 Enfriamiento de un termómetro de vidrio en el aire
 Proyecto. 173 Enfriamiento de un cuerpo en el aire y en el agua
 Proyecto. 174 Variación del enfriamiento con la masa

- Capítulo 53.** Conservación de la energía y calorimetría
 ✓ Conservación de la energía – Primer Principio de la Termodinámica
 ✓ Equivalente en agua del calorímetro
 Proyecto. 175 Conservación de la energía en una mezcla de dos masas de agua

- Proyecto. 176 Medición del calor específico de un sólido I
 Proyecto. 177 Medición del calor específico de un sólido II
 ✓ Transiciones de fases
 Proyecto. 178 Transición líquido-vapor. Calor latente de evaporación I
 Proyecto. 179 Transición líquido-vapor. Calor latente de evaporación II
 Proyecto. 180 Transición sólido-líquido. Calor latente de fusión

Capítulo 54. Gases ideales - Determinación de pesos moleculares

- ✓ Gases ideales
 Proyecto. 181 Peso molecular del aire
 Proyecto. 182 Medición del peso molecular del butano

Capítulo 55. Teoría cinética de los gases - Relación de calores específicos para gases ideales

- ✓ Teoría cinética y capacidad calorífica de gases ideales
 ✓ Experimentos de Clement-Desormes
 Proyecto. 183 Determinación de γ por el método de Clement-Desormes
 ✓ Experimentos de Rüchardt
 Proyecto. 184 Determinación de γ por el método de Rüchardt

Capítulo 56. Calentamiento Global, temperaturas del pasado y ondas térmicas

- Proyecto. 185 Conducción y pérdida de calor en una barra metálica.
 Proyecto. 186 Ondas de calor en el suelo
 Proyecto. 187 Temperaturas del pasado

Capítulo 57. Difusión: difusión de permanganato de potasio en agua

- ✓ Leyes de Fick de la difusión
 ✓ Difusión en una y dos dimensiones
 ✓ Difusión en agua
 Proyecto. 188 Difusión del permanganato de potasio o tinta en el agua Difusión:
 difusión de permanganato de potasio en agua
 Proyecto. 189 Variación del coeficiente de difusividad con la temperatura
 Proyecto. 190 Difusión del permanganato de potasio o tinta en el agua

Módulo VIII Módulo de Física Moderna y astrofísica

Capítulo 58. Experimento de Michelson

- ✓ El interferómetro de Michelson
 Proyecto. 191 Determinación de la longitud de onda de un láser
 Proyecto. 192 Efecto del estado de polarización
 Proyecto. 193 Análogo acústico del interferómetro de Michelson: Tubo de Quincke

Capítulo 59. Transiciones de fases - Materiales ferromagnéticos

- ✓ Materiales ferromagnéticos y ferrimanéticos
 ✓ Curva de histéresis
 ✓ Determinación de la curva de histéresis
 Proyecto. 194 Medición de la curva de histéresis para el hierro
 Proyecto. 195 Medición de la curva de histéresis para núcleo de ferrita
 Proyecto. 196 Estimación de la temperatura de Curie

- Proyecto. 197 Determinación de la temperatura de Curie de una muestra de ferrita
- Anexo B.** Número de vueltas de las bobinas del toroide
- Anexo C.** Circuito integrador
- Capítulo 60.** Naturaleza estadística del decaimiento radioactivo
- ✓ Decaimientos radioactivos
- ✓ La distribución de Poisson
- Proyecto. 198 Estudio experimental de la estadística del proceso radioactivo
- Capítulo 61.** Dinámica relativista – Colisiones de electrones y fotones – Efecto Compton
- ✓ Dinámica relativista
- ✓ Interacción de la radiación con la materia- efecto Compton
- ✓ Mecanismos de interacción de fotones en un detector de rayos gama
- Proyecto. 199 Estudio experimental de la colisión fotón-electrón. Efecto Compton
- Capítulo 62.** Interacción de la radiación electromagnética con la materia
- ✓ Pasaje de la radiación electromagnética por la materia
- ✓ Determinación del coeficiente de absorción
- Proyecto. 200 Variación del tiempo muerto del sistema de adquisición
- Proyecto. 201 Determinación del coeficiente de absorción lineal
- Capítulo 63.** Determinación de la vida media del ^{40}K – Nucleosíntesis
- ✓ Nucleosíntesis
- ✓ Introducción a la espectroscopia de rayos gama
- ✓ Eficiencia de un detector de rayos gama
- ✓ Determinación de vidas medias largas
- Proyecto. 202 Vida media del ^{40}K
- Capítulo 64.** Determinación de la banda de energía prohibida de semiconductores
- ✓ Banda de energía prohibida de semiconductores
- ✓ Diodos semiconductores
- ✓ Introducción Determinación de vidas medias largas
- Proyecto. 203 Determinación del “band-gap” del Si y del Ge por medio de mediciones eléctricas
- Proyecto. 204 Determinación del “band-gap” del Si y del Ge II
- Capítulo 65.** Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas- Modelos de Einstein y Debye
- ✓ Capacidad calorífica de un sólido a bajas temperaturas
- ✓ Fonones en sólidos
- Proyecto. 205 Determinación de la Temperatura de Debye I
- Proyecto. 206 Determinación del calor de evaporación del nitrógeno líquido
- Proyecto. 207 Determinación de la Temperatura de Debye II
- ✓ Efecto Leidenfrost
- Proyecto. 208 Observación del efecto Leidenfrost
- Capítulo 66.** Estimación de la constante solar, la luminosidad del Sol y atenuación de la luz en la atmosfera
- ✓ La luminosidad del Sol y la constante solar
- ✓ Extinción de la luz en la atmósfera
- ✓ Determinación de la irradiancia solar
- Proyecto. 209 Método simple para medir la irradiancia solar.

Proyecto. 210	Atenuación de radiación solar en la atmósfera
Proyecto. 211	Método simple para medir la irradiancia solar
✓	Máxima distancia de visibilidad en el aire, turbidez
Proyecto. 212	Máxima distancia de visibilidad en el aire
Anexo B.	Fotómetros

Apéndices

- Apéndice A.** Pautas y sugerencias para la redacción de informes
- Apéndice B.** Normas de seguridad en el laboratorio
- Apéndice C.** Método de regresión lineal- Significación de Parámetros de un ajuste
- Apéndice D.** Regresión no-lineal
- Apéndice E.** Introducción a los “Lock in amplifiers”
- Apéndice F.** Sugerencias para la realización de un proyecto experimental

Prefacio

Los hombres enseñando, aprenden
Seneca (4 aC, 65 AD)

Objetivo del libro

Hace algunos años, en un texto de mis hijos encontré esta cita de Séneca, que resumía muy adecuadamente mi propia experiencia como docente. Cuanto más me esforzaba por explicar algún tema a mis estudiantes, más profunda era la comprensión que yo mismo lograba. En ese sentido, este libro es el diario de un estudiante, ya algo entrado en años, en busca del sentido y armonías en el mundo que nos rodea. Buscar algún orden y regularidad, en el aparente caos en el que muchas veces nos vemos inmersos, es una aventura, que con sus logros y fracasos, ha dado sentido y satisfacción a una faceta importante mi vida y espero compartirla con mis estudiantes y lectores.

Este libro es el resultado de un aprendizaje colectivo, que a lo largo de muchos años realizamos con estudiantes de varias universidades, con los que disfruté largas horas de trabajo. En ese sentido, en este texto he tratado de transcribir parte de esas experiencias, que espero sean utilidad e inspiración a nuevos estudiantes, instructores de física y entusiastas de las ciencias en general. Hace algo más de una década, con E. Rodríguez, publicamos “*Física re-Creativa: Experimentos de física usando nuevas tecnologías*”, que tuvo muy buena acogida en varios países de habla hispana. Desde entonces recibí muchas sugerencias de colegas y alumnos. Asimismo, en estos años, con mis estudiantes, hemos realizado nuevos experimentos e incorporado nuevas tecnologías, que evolucionaron en este trabajo.

En los últimos años la calidad de las computadoras personales (PC) aumentó significativamente, lo que hace posible transformar casi cualquier PC en un mini-laboratorio de cierta sofisticación. En este libro se aprovechan estas ventajas, varios experimentos no requieren más equipos que los dispositivos que regularmente están presentes en las computadoras personales estándares, como ser webcam, tarjetas de sonido, etc. Esto posibilita que muchas escuelas y universidades, aun con muy escasos recursos, puedan realizar experimentos desafiantes y que brinden un aprendizaje significativo, a la par de estimular el goce por la investigación y las ciencias.

El objetivo de este libro es presentar un conjunto de experimentos de física que, haciendo uso de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's), resalten los aspectos

metodológicos de la física y las ciencias en general. Los experimentos están orientados a estudiantes universitarios de ciencia e ingeniería, aunque algunos pueden ser usados en escuelas secundarias. Los proyectos propuestos apuntan a que los estudiantes puedan responder las preguntas: ¿cómo sabemos esto?, ¿por qué creemos en aquello? Estas preguntas ilustran la naturaleza del pensamiento científico. Esta obra se complementa con un portal de Internet (www.fisicarecreativa.com) donde se ofrece un conjunto de vínculos a sitios de Internet de interés para estudiantes y docentes de física, como así también a informes de proyectos similares a los propuestos en este libro, realizados por estudiantes de diversas universidades.

Como usar este libro

Los proyectos experimentales propuestos están organizados alrededor de temas relacionados con: metodología y metrología, mecánica, electromagnetismo, termodinámica, óptica, la física moderna y la astrofísica. En particular, los experimentos propuestos intentan ilustrar los fenómenos que dan sustento a los paradigmas básicos de la física, como son las leyes de la mecánica, los principios de conservación de la energía, las ecuaciones de Maxwell, el concepto de onda, la mecánica cuántica, etc. También se busca que los proyectos sean en su mayoría autocontenidos, es decir, que cada uno de ellos pueda ser desarrollado por los estudiantes sin necesariamente haber hecho los que le preceden en el texto.

En cierto modo los proyectos incluidos pueden pensarse como los platos que se ofrecen en un “buffet libre” o “tenedor libre”, donde cada docente o estudiante puede escoger los que le resulten de mayor interés y que se adecuen mejor a sus objetivos. Esto permite que el libro pueda ser de utilidad para cursos de distintas carreras y para estudiantes con distintos niveles de formación.

Las actividades indicadas con el símbolo ♣ requieren de un nivel de conocimientos comparable a la de estudiantes de un primer curso de física universitario. Las actividades indicadas con ♣♣ denotan experimentos de mayor nivel de complejidad y aquellos con ♣♣♣ incluyen tópicos algo más avanzados, adecuados para estudiantes que buscan un mayor grado de desafío.

Cada capítulo tiene una breve introducción en la que se revisa brevemente el marco conceptual pertinente a los experimentos a desarrollar. Esta discusión es, por razones de espacio, en general escueta, pero en todos los casos se indica la bibliografía donde se puede encontrar una discusión más extensa de cada tema. Asimismo, se citan revistas orientadas a la enseñanza, que por lo

general son accesibles a estudiantes universitarios, tales como American Journal of Physics, European Journal of Physics, The Physics Teacher, Latin-American Journal of Physics Education, entre otras. Se sugiere enfáticamente que estas fuentes sean consultadas frecuentemente y que se usen en el desarrollo de los cursos. Una de las grandes ventajas que brindan las TICs es la accesibilidad a revistas especializadas. El acercamiento a este tipo de bibliografía permite a los estudiantes ponerse en contacto con las fuentes de conocimiento y relacionarse directamente con el proceso de creación y desarrollo de la ciencia. Es posible que muchos estudiantes se vean estimulados a ser ellos mismos protagonistas de este proceso e intenten publicar sus propias ideas. Estas actividades son un aporte muy valioso y significativo para la formación de profesionales, tecnólogos y científicos.

Otro objetivo que se intenta lograr es que los experimentos puedan realizarse con equipos de bajo costo. Esto amplía la posibilidad de realización de los mismos, ya que en muchos lugares de Latinoamérica sólo se dispone de laboratorios con pocos recursos materiales. En este texto mostramos como una gran variedad de experimentos se pueden realizar con recursos muy modestos, que sin embargo proponen interesantes desafíos a los estudiantes y brindan una oportunidad de aprendizaje significativo, útil y placentero. Dada la disponibilidad creciente de algunos equipos modernos y elaborados en muchos ámbitos laborales, también se incluyen varios experimentos que implican el uso de equipos más sofisticados como detectores de radiación gama, multicanales y amplificadores “lock-in”, entre otros.

En los experimentos introductorios, hemos adoptado una aproximación *constructivista*. Varios de estos experimentos están planteados de modo que los estudiantes *descubran los fenómenos*. Asimismo, se induce a los estudiantes, a través de preguntas, a que ellos “construyan” el marco conceptual que explican las observaciones. En algunas actividades se plantean “enigmas” para que los estudiantes, haciendo uso de los paradigmas fundamentales de la física, discutidas en los cursos convencionales, expliquen los resultados que descubren en el laboratorio. Esto permite que los estudiantes experimenten de primera mano los distintos caminos que la ciencia sigue en su desarrollo y evolución. Se busca así que los estudiantes aprendan física por *inmersión* en su dinámica y desarrollo.

El presente libro intenta servir de puente entre los enfoques docentes tradicionales y las nuevas formas de aprendizaje activas o por indagación. El texto está estructurado en módulos que

siguen los bloques en que tradicionalmente se divide la física en las escuelas de ciencia e ingeniería: mecánica, termodinámica, ondas, electromagnetismo, etc. En cada módulo se proponen proyectos que incluyen elementos de un aprendizaje activo o por indagación, pero que se pueden incluir dentro de una curricula convencional en la proporción deseada. Una adecuada articulación de ambos enfoques, los vuelve complementarios y hace que se potencien mutuamente.

Asimismo se persigue desarrollar en los estudiantes:

- ✓ **Habilidades experimentales y analíticas.** Manejo de instrumental de laboratorio, habilidad para medir cuidadosamente una magnitud física, análisis de los errores de medición y la elección de los instrumentos más adecuados para cada fin.
- ✓ **Análisis crítico de los resultados, sus implicancias y generalizaciones,** mediante la comparación de los resultados con las expectativas teóricas o *a priori* y la formulación de hipótesis y de nuevos experimentos.
- ✓ **Uso de computadoras** para la toma de datos, control de un experimento y el análisis de los resultados y la confección de informes.
- ✓ **Familiarización de los estudiantes con la literatura actual,** en particular revistas amenas y accesibles como por ejemplo: American Journal of Physics, The Physics Teacher, Latin-American Journal of Physics Education, etc.

- ✓ Desarrollo de habilidad para comunicar por escrito los resultados, elaborando informes que siguen los modelos internacionalmente adoptados para publicaciones científicas y técnicas.

A mis colegas

Encuadre filosófico

Una de las características distintivas de los tiempos que vivimos es el constante devenir de cambios tanto tecnológicos como económicos, políticos y sociales. También la experiencia de las últimas décadas deja en claro lo terriblemente limitado de nuestra capacidad para predecir el sentido u orientación de estos cambios. Ante estas realidades y limitaciones, surge naturalmente la pregunta: ¿cómo podemos preparar a nuestros estudiantes en ciencias y tecnología, cuando estamos casi seguros de que en su vida profesional usarán técnicas y equipos que hoy nos son desconocidos y que las técnicas y equipos con los que los preparamos seguramente serán obsoletos antes que ellos egresen de nuestras universidades? Desde luego las respuestas a estos interrogantes son muy complejas y difíciles. Sin embargo, el intento de elaborar una respuesta a estos interrogantes es un desafío ineludible para un educador.

Una posible respuesta a este dilema de la educación actual es enfatizar el desarrollo de habilidades y actitudes lo más básicas y amplias posibles, de modo tal que los estudiantes tengan la capacidad de adaptarse a situaciones nuevas y cambiantes. En ese sentido la enseñanza de las ciencias básicas, como la física en este caso, puede hacer un aporte valioso a la formación profesional, siempre y cuando se enfatizen sus aspectos formativos y metodológicos a la par de contenidos de información específicos. Así, por ejemplo, cuando discutimos y estudiamos el péndulo en el laboratorio, está claro que lo esencial no son necesariamente las leyes del mismo. Es poco probable que alguien termine trabajando con un péndulo en su vida profesional y evidentemente existe abundante información sobre este tema en la literatura que puede ser consultada en cualquier momento. Sin embargo, la metodología que usamos para estudiar el comportamiento de un péndulo, poner a prueba nuestras hipótesis, ensayar explicaciones, analizar críticamente nuestros resultados y buscar información para lograr una mayor comprensión del problema, son comunes a muchas áreas del quehacer profesional de ingenieros y tecnólogos actuales y seguramente del futuro. Por lo tanto, lo que se busca en el presente proyecto, además de presentar algunos **contenidos básicos de información**, es desarrollar en los estudiantes la habilidad de enfrentarse a problemas nuevos con apertura y rigurosidad. En otras palabras, lo que se busca es **que sepan cómo aprender cosas nuevas** (aprendan a aprender) y enfrentarse a ellas

con confianza y buen criterio. Si estos objetivos se logran, esta experiencia educativa habrá tenido éxito.

Enfoque pedagógico adoptado en este libro

Aprendizaje por inmersión en la física

Un curso de laboratorio de física no es necesariamente un ámbito donde se ilustran y demuestran todos y cada uno de los conceptos discutidos en un texto o clase teórica. Las limitaciones en tiempo, equipos y personal lo harían seguramente imposible. En ese sentido, los buenos textos, las demostraciones en clases o en videos y las discusiones con los docentes cumplen esa función tal vez con mayor eficacia y economía. Hay sin embargo una misión fundamental e irremplazable del laboratorio en la formación de los estudiantes, mucho más viable y provechosa, que consiste en que los estudiantes aprendan el camino por el cual se genera el conocimiento científico mismo.

Así un objetivo que se consideró importante en esta propuesta, es la introducción de los estudiantes a la **comprensión** y **entendimiento** de la ciencia en general y más específicamente de la física. Se enfatiza aquí el aspecto del *entendimiento* de la ciencia por encima del aspecto de la *información científica*, es decir se privilegian los aspectos procedimentales de la física. Esto parte de la convicción que lo que caracteriza a un científico no es aquello en lo que cree, sino las razones que lo llevan a creer en eso. Cada teoría científica se basa en hechos empíricos. Con el transcurrir del tiempo se descubren nuevos hechos, otros son modificados o inclusive encontrados erróneos. En consecuencia nuestras concepciones científicas deben ser revisadas y modificadas. Por lo tanto, el conocimiento científico es por su propia naturaleza un conocimiento tentativo que puede ser refutado o falseado.

También se considera importante en un programa de educación científica estimular en los estudiantes el desarrollo de una **actitud crítica** frente al conocimiento en general y al conocimiento científico en especial. La ciencia es una herramienta muy poderosa para la comprensión y modificación de nuestro mundo, pero es también limitada. Por lo tanto reconocer sus limitaciones es también una faceta esencial para el entendimiento de la misma.

Para alcanzar estos objetivos sugerimos concentrarse más bien en *pocos tópicos fundamentales* donde los supuestos básicos y hechos empíricos que sostienen las teorías pertinentes son discutidos cuidadosamente. Esto es, privilegiar la profundidad del tratamiento de los temas sobre la extensión y la metodología sobre la mera información.

Un laboratorio es una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un ámbito esencial para la enseñanza de la ciencia en un nivel introductorio. El laboratorio les brinda a los estudiantes la posibilidad de *aprender a partir de sus propias experiencias*. También puede y debe ser usado para *estimular la curiosidad y el placer por la investigación y el descubrimiento*. Brinda a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, *cometer errores y reconocerlos*, y por lo tanto aprender de ellos.

También se busca estimular la elaboración de conjeturas razonables para explicar las observaciones realizadas (es decir, la elaboración de modelos que puedan explicar las observaciones). Creemos que el encontrar resultados *inesperados* estimula el proceso de aprendizaje y mantiene el interés de los estudiantes. Esto es más constructivo que usar las sesiones de laboratorio simplemente para verificar resultados ya discutidos en los textos o en clases. Las soluciones de los problemas experimentales no pueden ser encontradas al final de un libro. Por lo tanto, es un desafío para los estudiantes que deben confiar en su propio criterio y adquirir confianza en su conocimiento.

Para la realización de varios de los experimentos propuestos se requiere el uso de sistemas de toma de datos y análisis por computadoras. Esta tecnología se ha vuelto muy accesible y prevalente en los últimos años y ofrece la posibilidad de realizar experimentos más cuantitativos y con mayor precisión. Al mejorar la precisión de las mediciones, es fácil apreciar la necesidad de mejorar las teorías establecidas. Asimismo, las limitaciones de los modelos propuestos se vuelven evidentes. Este tipo de vivencia difícilmente pueda ser internalizada en un ámbito distinto del laboratorio.

El estímulo de la *creatividad* es otro objetivo fundamental que puede y debe lograrse en el laboratorio. Al aceptar y alentar las variaciones a los problemas dados, es muy gratificante ver como muchos estudiantes encuentran nuevos caminos para alcanzar un objetivo dado o pueden incluso encontrar un nuevo objetivo tal vez más valioso que el originalmente concebido por el instructor. El análisis y la elaboración de los informes de laboratorio son también muy importantes

en el proceso de aprendizaje. Aquí los estudiantes deben resumir y ordenar sus observaciones y experiencias. En el informe los estudiantes deben describir sus resultados y compararlos con las expectativas teóricas. Asimismo, es importante para los alumnos apreciar el grado de acuerdo o desacuerdo, establecer conclusiones, etc.

Hay, además, importantes subproductos provenientes de este último paso, como ser el desarrollo de la habilidad para escribir informes, mostrar sus resultados en forma gráfica, diseñar presentaciones, etc. Asimismo, los estudiantes aprenden a utilizar computadoras para la adquisición de datos y/o para analizarlos y adquieren experiencia en conceptos básicos de estadística a partir de discusiones sobre los errores experimentales y el nivel de significación de sus observaciones. La utilización de instrumentos que les permita expandir su capacidad de observación y la habilidad de realizar mediciones es en sí misma una experiencia fructífera y útil.

La mayoría de los proyectos experimentales, por su naturaleza, deben ser llevados a cabo por un grupo de personas, lo que promueve la cooperación entre los estudiantes y el *trabajo en equipo*. Muchos de los proyectos experimentales no siempre tienen un “final feliz”, donde todos los datos obtenidos concuerdan con las expectativas teóricas en toda su extensión. Esto ocurre por diversas razones: errores sistemáticos, carácter aproximado de las teorías expuestas en los textos, o complejidades no bien entendidas. Esto puede ser útil para que los estudiantes comprendan el carácter problemático de las ciencias y que las teorías científicas necesitan permanentemente ser corroboradas experimentalmente, ser revisadas a la luz de nuevas evidencias, o ser reemplazadas por otras más generales o racionales.

En resumen, el laboratorio naturalmente brinda una excelente oportunidad para simular situaciones en las cuales no solamente las ciencias se desarrollan sino también un gran número de actividades profesionales y empresariales modernas, y tal vez la vida misma.

A

*Rodrigo, Eugenio, Mandy y a la
memoria de mis padres*