Lo que tiene la ventaja subsidiaria de eliminar una dificultad para los alumnos y, con ello, se contribuye, de paso, a descargar los ya de por sí excesivamente largos programas de la asignatura en Bachillerato.

EL EFECTO JOULE

Clásicamente, se llama efecto Joule a «la transformación en calor, de la energía eléctrica», y se evalúa dividiendo esta energía por el «equivalente mecánico del calor».

Obviamente, la teoría expuesta en los párrafos anteriores, exige una modificación en las explicaciones acerca de este efecto, tanto en su vertiente cualitativa, como en su cuantificación.

Es perfectamente comprensible, para un alumno de Bachillerato, razonar, más o menos, así:

Por efecto Joule se entiende el calentamiento que experimentan los conductores al circular, por ellos, la corriente eléctrica.

Las cargas eléctricas circulantes colisionan con los átomos o iones de la red cristalina del conductor. En cada colisión ceden una parte de su energía al átomo o ion con el que chocan, que aumenta así la amplitud de sus vibraciones y, por tanto, lo que venimos llamando energía interna, del conductor. Y como según la (1), al aumentar ésta debe aumentar la temperatura, el conductor se calentará. Y puesto que sus alrededores permanecen a la temperatura inicial, se produce un desequilibrio térmico, entre aquél y éste, que origina un trasiego de energía en el mismo sentido.

El flujo de energía es tanto mayor, cuanto mayor es la diferencia de temperatura. Por ello, al ir aumentando la temperatura del conductor, como la de los alrededores no aumenta, el flujo energético crecerá, hasta que la energía cedida iguale a la que entrega la corriente. A partir de entonces se mantiene constante la temperatura del conductor, ya que su contenido en energía no variará, pues toda la que reciba de la corriente, la cede a sus alrededores por la vía del desequilibrio térmico.

Si el conductor estuviera aislado (no puede ceder ni recibir energía del exterior) o cediera la energía a un sistema aislado, podríamos calcular la elevación de temperatura que experimentaría. Efectivamente, de la (1), teniendo en cuenta la (3), se deduce:

$$\Delta U = k \cdot m \cdot \Delta T,$$

pero si está aislado, como hemos supuesto, este aumento de la energía interna es, precisamente, la energía cedida por la corriente, cuyo valor es

$$\Delta E = I^2 R t$$

(en donde I representa la intensidad de la corriente, R la resistencia del conductor y t el tiempo). Luego si $\Delta U = \Delta E$, obtenemos por igualación

$$I^2 \cdot R \cdot t = k \cdot m \cdot \Delta T,$$

de donde

$$\Delta T = \frac{I^2 R \cdot t}{k \cdot m}$$

Con esta explicación habremos superado, con elegancia, la dificultad que ofrecía el abandono de los conceptos «caloría», «equivalente mecánico del calor» y aun de la misma idea de «calor», que, como queda expuesto, se nos antoja tan inconveniente.

Estudio experimental del M. R. U., M. R. U. A. y M. C. U. (Segundo de Bachillerato)

Por Carlos SANCHEZ JIMENEZ (*)

Pretendemos establecer, deducidos de la experiencia, los conceptos de velocidad y aceleración y determinar sus valores en algunos casos concretos. Como además queremos que sean las alumnas las que elaboren los resultados y obtengan conclusiones trabajando en equipo, se han agrupado en siete equipos de cuatro a cinco. Más adelante, estos grupos realizarán sus propias prácticas.

Realizamos tres experiencias de la forma que a continuación se describe:

EXPERIENCIA 1. *Mediante un motor (equipo de Mecánica Superior de ENOSA) hacemos deslizar un cuerpo detrás del cual se coloca una regla graduada. Una alumna acciona el interruptor del motor y otras provistas de cronómetros miden los tiempos transcurridos entre el instante en que el móvil pasa por el origen de espacios y puntos situados a 5, 10, 15, 20 y 25 cm del origen. La medida de* s *se realiza con la precisión de milímetros y la de* t *con la de una décima de segundo. No tratamos de calcular errores, sino de iniciar a la alumna en el manejo de cifras significativas. Se tabulan los resultados obtenidos.*

(*) Catedrático de Física y Química del Instituto Nacional de Bachillerato «Catalina de Alejandría» de Jaén.

EXPERIENCIA 2. *Se acopla al motor un disco con una señal, se deja funcionar para que adquiera la velocidad de régimen y cinco alumnas miden los tiempos necesarios para dar una, dos..., cinco vueltas desde el instante en que la señal del disco pasa frente a un punto de referencia. Se tabulan los resultados.*

EXPERIENCIA 3. *Consiste en una regla de 150 cm con una ranura longitudinal por la que puede rodar una bola. En la regla se han marcado señales a 10, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 del origen. Hacemos la primera señal a 10 cm porque el intervalo de tiempo para los primeros 25 cm es excesivo, lo que dificulta la construcción de la curva.*

Se coloca formando un plano inclinado de unos 10° sobre la mesa. A un lado hay una alumna que sujeta la bola en posición «O» y al otro, tres alumnas provistas de cronómetro. En el momento de soltarla, la primera alumna hace una señal y las otras hacen funcionar los cronómetros que detienen cuando la bola ha recorrido 10 cm. Se repite la experiencia midiendo ahora el tiempo necesario para 25 cm. Después para 50 y así hasta llegar a 150. Se toma en los cálculos el valor medio entre los obtenidos por las tres cronometradoras.

Hemos utilizado en este caso un método tan sencillo, porque tenemos la experiencia de que la complejidad operatoria enmascara frecuentemente el fin que se pretende, sobre todo a un nivel, como es segundo, bastante elemental. Por otra parte, el método es bastante impreciso y esto es interesante para que el alumno vea reflejados gráficamente los errores experimentales, compare con los otros dos métodos más exactos y reflexione sobre la forma en que se podrían eliminar las causas más importantes de error. Se tabulan los valores tomando el espacio con la precisión de centímetros, y el tiempo con la décima de segundo.

Inmediatamente de realizadas las tres prácticas, clasificamos los movimientos por su trayectoria: el primero y el tercero, rectilíneos. El segundo, curvilíneo. Como la trayectoria es una circunferencia, circular. En el primero y en el tercero, intervienen como magnitudes s *y* t*; en el segundo, además, el ángulo barrido por un radio.*

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

EXPERIENCIA 1. *Nos encontramos con que las alumnas tienen dificultades cuando se trata de establecer la escala para* s *y* t *en la representación gráfica. Les damos instrucciones completas en esta y en las demás prácticas. Cuando, a lo largo del curso, han realizado bastantes representaciones, adquieren el suficiente criterio para establecer su escala. Hacemos nuestra propia representación y la proyectamos en el retroproyector para que les sirva de guía. Aprenden que los puntos han de quedar uniformemente distribuidos a lo largo de la recta.*

Los resultados obtenidos son los de la tabla I, y la representación, la de la figura 1.

Una vez construidas las gráficas, vamos haciendo preguntas, procuramos que las alumnas hagan también sus propias observaciones y las dejamos discutir entre ellas libremente. Las preguntas que han surgido son las siguientes: ¿qué relación matemática liga a s *y* t*?, ¿qué representa físicamente la constante de proporcionalidad?, ¿en qué unidades se expresa, en este caso y en el S.I.?, ¿cuál es la representación gráfica* $v = f(t)$*?, ¿cómo podemos calcular el espacio recorrido entre dos instantes a partir de esta gráfica?*

Sintetizamos en las siguientes conclusiones:

a) *El espacio es función lineal del tiempo. Es decir,* $\Delta s = k\Delta t$. k *es una constante de proporcionalidad, cuyo sentido físico es espacio recorrido por unidad de* t. *Es la magnitud física llamada velocidad y se expresa en* m/s *en el S.I. Su valor se determina midiendo la pendiente de la recta y en nuestra experiencia su valor es de 1,4 cm/s. Estamos ante un m.r.u. y la representación* $v = f(t)$ *es una recta paralela al eje de los tiempos.*

TABLA I

s (cm)	*t (s)*	$\bar{v}$ *(cm/s)*
0	0	
5,0	3,3	
10,0	7,3	
15,0	10,6	1,4
20,0	14,4	
25,0	17,5	

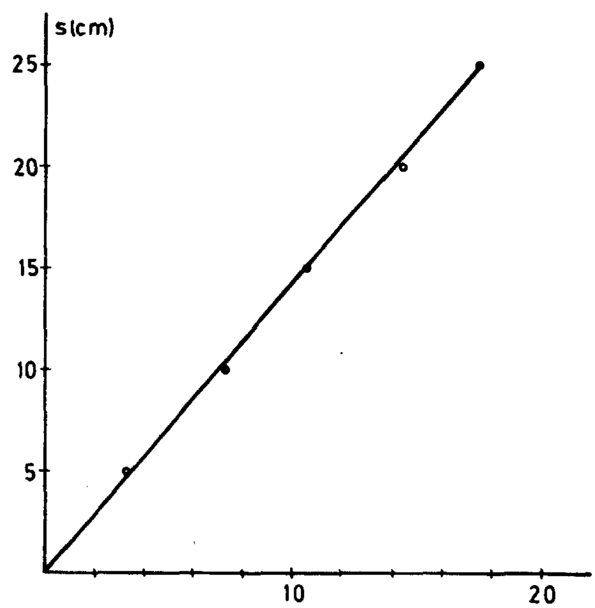

Fig. 1

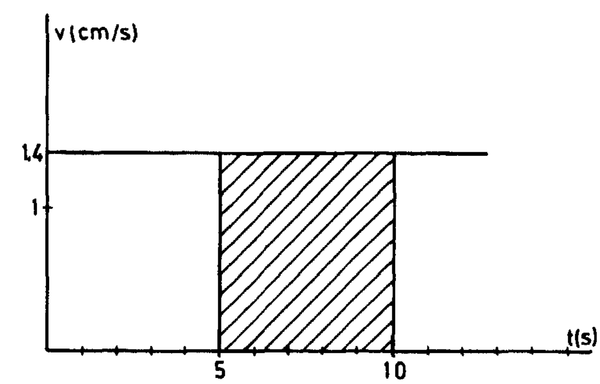

Fig. 2

b) *El espacio recorrido en un intervalo de tiempo es el área encerrada bajo la recta* $v = f(t)$ *y el eje de los tiempos, y esto es así para cualquier tipo de movimiento. En nuestro caso, el espacio recorrido entre* $t = 5$ s *y* $t = 10$ s *vale* $s = (10-5) \cdot 1{,}4 = 7{,}0$ *cm.*

EXPERIENCIA 3. *Los resultados obtenidos son los de la tabla II. Anotamos sólo el valor medio del tiempo y no los valores concretos de cada cronometrador. En la representación gráfica actuamos como en la experiencia 1, así como en la forma de conseguir que las alumnas obtengan conclusiones (figura 3).*

TABLA II

s *(cm)*	t *(s)*
0	*0*
10	*0.4*
25	*0,9*
50	*1,3*
75	*1,8*
100	*2,2*
125	*2,3*
150	*2,6*

¿Hay proporcionalidad directa entre s *y* t*? ¿Podremos escribir entonces* $\Delta s = k\Delta t$*? Si hacemos* $\Delta s/\Delta t$ *entre los puntos 1 y 2 ¿obtenemos* v*? Definimos velocidad media. Podemos ahora tomar intervalos de tiempo más pequeños, de 0,5 s. Los trozos de curva prácticamente son rectas. Ahora hay proporcionalidad directa. ¿Qué obtenemos si dividimos* $\Delta s/\Delta t$ *para cada intervalo de 0,5 s? Definimos velocidad instantánea y advertimos que el método de cálculo es sólo aproximado. Cada grupo de alumnas hace el cálculo para todos los intervalos. Recogemos la media aritmética de los valores obtenidos por cada grupo en la tabla III y damos de nuevo instrucciones a las alumnas para su representación gráfica, figura 4.*

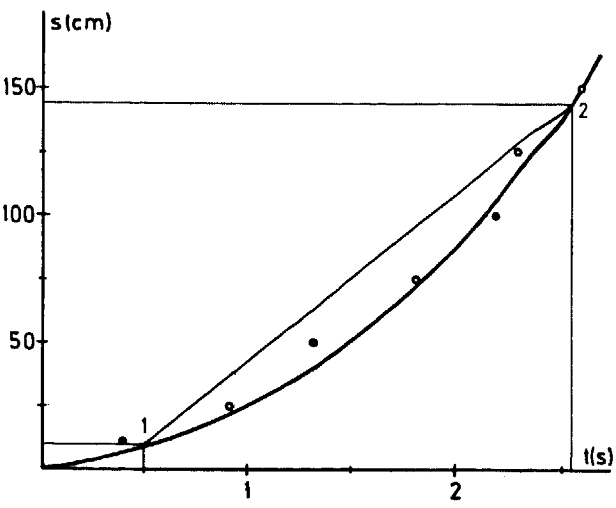

Fig. 3

Observamos que los puntos están situados aproximadamente en una línea recta, pero con desviaciones mayores que en la experiencia I. Hay mayor imprecisión en el método experimental.

TABLA III

v *(cm/s)*	t *(s)*
0	*0*
18	*0,25*
32	*0,75*
50	*1,25*
70	*1,75*
91	*2,25*

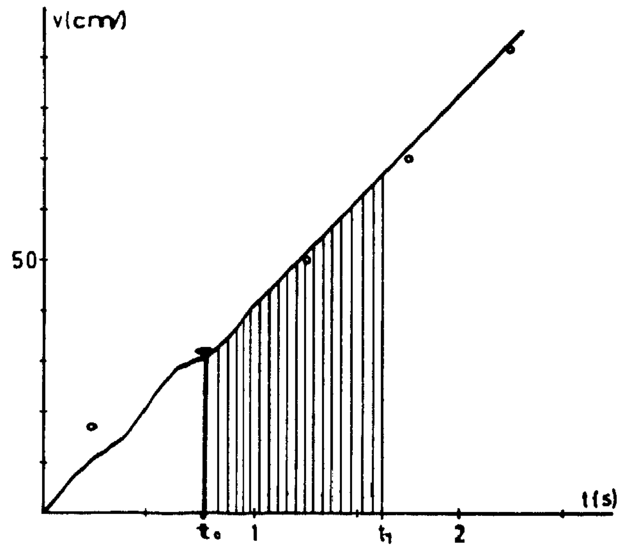

Fig. 4

¿Hay proporcionalidad directa entre v *y* t*? ¿Cómo se expresa matemáticamente? Si* $\Delta v = k\Delta t$, *¿qué significa físicamente* k?, *¿cuáles son sus unidades? ¿Cómo podemos obtener el espacio recorrido entre* $t = 0$ *y* $t = t_0$ *en la gráfica* $v = f(t)$ *(fig. 4)? ¿Cuánto vale el área? ¿Cómo obtendremos el espacio entre 1 y 2? ¿Cuánto vale ahora el área?*

Conclusiones: a) *No hay proporcionalidad directa entre* s *y* t. *El movimiento es rectilíneo, pero no uniforme.*

b) *Las desviaciones de los puntos en relación con la curva que suponemos teórica (advertimos a las alumnas que existen métodos más exactos que los usados por nosotros para trazar curvas) son mayores que en el m.u. La medida es de poca calidad.*

c) *Si se toman incrementos de* t *suficientemente pequeños (0,5 s) se puede considerar que hay proporcionalidad directa entre* s *y* t. *Dividiendo cada incremento de* s *por el correspondiente incremento de* t, *se obtiene el valor de la velocidad instantánea para el punto medio de cada* Δt.

d) *Si presentamos* $v = f(t)$ *observamos que se trata de una función lineal.* $\Delta v = k\Delta t$ *nos indica que la velocidad aumenta uniformemente con el tiempo, de ahí que el movimiento se llame uniformemente acelerado.* $k = a = \Delta v/\Delta t$ *es la aceleración, aumento de velocidad por unidad de tiempo. En el S.I. se expresa en* m/s^2. *En nuestro caso se calcula midiendo la pendiente de la recta y vale 42* cm/s^2.

e) *El espacio recorrido entre* $t = 0$ *y* $t = t_0$ *es igual al área del triángulo, es decir,* $s = \frac{1}{2} v_0 t_0 = \frac{1}{2} a t_0^2$.

El espacio recorrido entre $t = t_0$ *y* $t = t_1$ *es el área del trapecio y vale* $s = \frac{v_0 + v_1}{2} \Delta t = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a (\Delta t)^2$.

Generalizando los resultados, se obtienen las ecuaciones que rigen el m.r.u.a., a saber:

$$v = v_0 + a\Delta t; \qquad s = v_0 \Delta t + \tfrac{1}{2} a (\Delta t)^2.$$

(Suponemos, para no complicar demasiado las cosas, que no existe espacio inicial.)

EXPERIENCIA 2. *Los datos obtenidos son los de la tabla IV en sus dos primeras columnas. El resto lo confeccionamos con los datos obtenidos.*

Como en los casos anteriores las alumnas representan n *en función de* t. *Se obtiene una recta. ¿Qué representa aquí la constante de proporcionalidad? ¿Qué significado físico tiene su inversa?*

El radio recorre en cada vuelta un ángulo de 360°. Los ángulos en Física se expresan en radianes. Damos la definición de radián, que las alumnas en general no conocen, y las alumnas llenan la columna correspondiente a φ. *Representan gráficamente el ángulo en función del tiempo. La función es lineal,* $\varphi = \omega \cdot \Delta t$. *¿Qué magnitud física representa* ω*? ¿En qué unidades se mide? La distancia entre el centro del disco y la señal es de 10 cm, ¿cuánto vale la velocidad tangencial de la señal? ¿Cómo es la velocidad tangencial de un punto situado más próximo al centro?*

TABLA IV

n	t(s)	$\varphi = 2\pi n$ *(rad)*	$s = 2\pi nr$ *(cm)*
0	0	0	0
1	1,8	2	20
2	3,4	4	40
3	5,3	6	60
4	7,2	8	80
5	9,1	10	100

Conclusiones. *1. El número de vueltas es función lineal de* t. *El movimiento es por ello circular uniforme. La constante de proporcionalidad entre* n *y* t *representa la frecuencia del movimiento, número de vueltas por segundo. La inversa de la frecuencia es el período, tiempo necesario para dar una vuelta. En nuestro caso,* $f = 0{,}6$ *r.p.s. y* $T = 1/0{,}6 = 1{,}2$ *s.*

2. La velocidad angular viene dada por la expresión $\omega = 2\ \ n/t$. *La pendiente de la figura 5 nos da el valor de* $0{,}6 \cdot 2\pi = 1{,}2\pi$ *rad/s. De la definición de frecuencia y período podemos escribir las expresiones* $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{t}$.

3. Cuando expresamos el ángulo en radianes, $\Delta s = \Delta\varphi \cdot r$. *De ahí,* $\frac{\Delta s}{\Delta t} = v = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \cdot r$; $v = \omega \cdot r$.

La velocidad angular es constante, la tangencial crece con el radio. En nuestro caso, para un radio de 10 cm. $v = 12\pi = 38$ *cm/s.*

Algunas consideraciones generales acerca de las prácticas. 1. *En primer lugar, pretendemos motivar al alumno en su aprendizaje. Creemos que esto puede conseguirse en gran medida si es él mismo el que crea la Física en vez de limitarnos a enseñarle los conceptos ya establecidos. Es preciso que lo adiestremos en las técnicas y en los métodos que le lleven a la deducción de leyes y teorías (naturalmente, nos estamos refiriendo a leyes y teorías que pueden asimilar los alumnos de Bachillerato).*

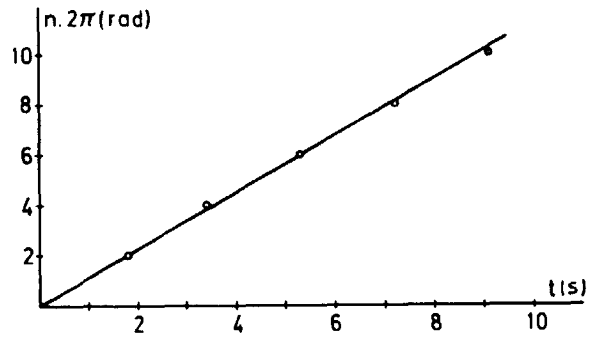

Fig. 5

Es necesario también que conozcan cómo han trabajado algunos hombres de ciencia y las dificultades que han encontrado, la gran cantidad de trabajo acumulado, de tanteos, de caminos seguidos sin obtener resultado hasta llegar al edificio actual de la Ciencia.

Por ello, nos parece que no debe darse la dicotomía entre teoría y práctica: las prácticas deben programarse para realizar medidas, que luego se elaboran y se relacionan mediante ecuaciones, al mismo tiempo que la teoría nos sugiere nuevos campos de aplicación. En otros casos, podemos montar una experiencia en que, sin realizar ninguna medida, pueda observarse un fenómeno e incluso establecer una hipótesis que lo explique haciendo trabajar la intuición, tan importante en el desarrollo de la ciencia (recuérdese que así estableció Galileo el principio de la inercia). No debe quedar reducida la realización de una práctica a la mera comprobación de hechos ya conocidos. Es útil, sin embargo, comprobar si una ley o un principio puede aplicarse en algún caso concreto ideado por nosotros. (Así hemos actuado, por ejemplo, en el capítulo destinado a Principio de Arquímedes).

Puesto que el alumno, sobre todo al principio, no es capaz de obtener resultados, el profesor debe planear previamente una serie de preguntas que irá planteando junto con las que surjan en el desarrollo de los temas. Una vez hecha una pregunta, se deja a los alumnos que piensen y discutan en grupo y el profesor no debe intervenir en tanto su ayuda no sea requerida. Naturalmente, esto precisa un clima de absoluta confianza y el abandono de la idea de una clase en total silencio. La intervención precisa del profesor aparece en el momento de coordinar la puesta en común de los resultados y observaciones y de sintetizar las conclusiones.

Sería de desear la participación de otros seminarios en temas concretos. Por ejemplo, en la práctica número 3, las alumnas han tomado intervalos pequeños de tiempo para definir la velocidad instantánea. Sería interesante ponerse de acuerdo con el profesor de Matemáticas para que sobre esa base física introdujera el concepto de derivada.

Otro fin que perseguimos es enseñar al alumno a actuar con espíritu crítico. Las experiencias montadas no ofrecen garantía en las medidas. La número 3 es muy imprecisa. El alumno debe trabajar con los valores obtenidos, sin tratar de mejorarlos por una repetición indefinida de la expe-riencia, porque el método no da para más. Ahora bien, debe ver dónde radican las principales causas de error y puede incluso pensar en posibles modificaciones para mejorar el método. Cuando hicimos la pregunta de cómo podrían obtenerse buenas medidas, una alumna «cortó por lo sano»: inventando otro procedimiento. Dos o tres pensaron que quizá podría haber un sistema eléctrico para detener el cronómetro en el momento exacto. Previamente, las alumnas que manejaban los cronómetros habían detectado la principal causa de error: es muy difícil parar el cronómetro en el instante justo en que la bola pasa por el punto considerado.

Para un próximo curso trataremos de obtener medidas utilizando un electroimán para poner en marcha y detener el cronómetro, compararlas con las «manuales» y discutir los resultados.

Finalmente, tratamos de que la alumna aprenda a aplicar el espíritu científico y crítico que procuramos inculcarle, a otras ramas del conocimiento, y a valorar las distintas fuentes de información que le llegan.

CIENCIAS NATURALES

Ciclo del nitrógeno. Prácticas de microbiología del suelo

Por Francisco BERMUDEZ de CASTRO (*), Angel COSTA (**) y Carlos MIGUEL (***)

Generalmente, a nivel de Bachillerato no se realizan prácticas de Microbiología, debido a las dificultades que entrañan los procesos de esterilización del material y de los medios de cultivo, la complejidad de estos últimos y las condiciones de siembra e incubación cuando no se dispone de un laboratorio adecuado. Sin embargo, algunas técnicas empleadas en Microbiología del Suelo son fáciles de realizar, requieren medios relativamente sencillos y encierran un valor didáctico indudable, pues inician a los alumnos en el estudio práctico de un sector de la Naturaleza tan interesante como es el mundo de los microorganismos.

El suelo no es un soporte inerte de las plantas. Es un ente vivo que se ha formado gracias al trabajo de millones de microorganismos que lo habitan y que contribuyen a su fertilidad. La complejidad de funciones realizadas por los microorganismos del suelo como resultado de las diversas reacciones de su metabolismo aconsejan estudiarlos reunidos en grupos funcionales o fisiológicos que ejercen una función específica como la celulolisis, la proteolisis, la nitrificación, etc. A su vez, estos grupos funcionales se incardinan en los grandes ciclos del nitrógeno, del carbono, del azufre, del hierro y del fósforo.

La Microbiología del suelo emplea habitualmente técnicas propias encaminadas a evaluar grupos determinados de microorganismos sin pretender aislar en cultivo puro un germen determinado como se procura en otras ramas de la Microbiología.

Vamos a estudiar aquí una parte del Ciclo del Nitrógeno, la fijación del nitrógeno atmosférico limitándonos al reconocimiento de un fijador libre del suelo, *Azotobacter*, y a dos simbióticos, *Rhizobium* y *Frankia*.

1. FIJACIÓN LIBRE DE NITRÓGENO ATMOSFÉRICO

1.1. Material de campo.
- Azadillas.
- Bolsas de plástico.
- Alcohol.
- Algodón.
- Cuaderno de notas.
- Jabón y toalla.

1.2. Material de laboratorio.
- Lápiz graso o rotulador para vidrio.
- Cristalizador grande.
- Espátulas.
- Cajas Petri de 5 cm ∅.
- Erlenmeyer.
- Tamices de 2 mm de malla.
- Papel de filtro.
- Cristal.
- Balanza.
- Frasco de vidrio de boca ancha.
- Microscopio.
- Portas y cubres.
- Asa de siembra.
- Mecheros de alcohol o gas.

1.3. Reactivos.
- Piruvato sódico.
- Carbonato cálcico.
- Fosfato bipotásico.
- Etanol de 96°.
- Agua destilada.

1.4. Muestreo.

Para asegurar la validez de los resultados es imprescindible recoger correctamente las muestras. Se buscará una tierra cultivada, que previamente haya observado el profesor, y se recogerán muestras en una época en la que el suelo no esté ni demasiado seco ni encharcado por la lluvia. Para cada muestra se harán 10 recogidas en diversas zonas del terreno, juntándolas en una bolsa y homogenizándolas posteriormente en el laboratorio. La

(*) Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Adjunto de Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.
(**) Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Agregado de Ciencias Naturales del Instituto Nacional de Bachillerato «Jorge Manrique» de Palencia.
(***) Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Ayudante de Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.