

# ¿Cómo estimar la concentración de azúcar en gaseosas? Una introducción a la refractometría

Horacio Gibbs<sup>1</sup>, Gabriel Pérez<sup>2</sup>, Esteban Szigety<sup>3</sup>, Javier Viau<sup>3</sup>, María Alejandra Tintori Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Colegio Dr. Arturo U. Illia. Facultad de Ciencia Exactas y Naturales. Departamento de Física. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata. Argentina.

<sup>2</sup> Colegio Dr. Arturo U. Illia. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata. Argentina.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería. Departamento de Física. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata. Argentina.

[grupodidacticadelasciencias@gmail.com](mailto:grupodidacticadelasciencias@gmail.com)

[Recibido en septiembre de 2013, aceptado en diciembre de 2013]

Con el propósito de promover prácticas cotidianas que faciliten la construcción de nuevas maneras de enseñar y aprender ciencias es que presentamos una propuesta didáctica inscripta en un marco de educación científica escolar; cuyo punto de partida es una pregunta disparadora: ¿Cómo podrían estimar la concentración de azúcar en una bebida gaseosa?, una vez desarrollados los conceptos asociados a la reflexión-refracción de la luz en el aula. Se abordan en el aula de física conceptos de óptica geométrica: reflexión y refracción de la luz; integrando contenidos desarrollados en química como: soluciones químicas y concentración de las soluciones.

**Palabras clave:** Reflexión y refracción de la luz; Experiencias sencillas de ciencia; Modelos científicos; Enseñanza de las ciencias experimentales.

## How to estimate the concentration of sugar in sodas? An introduction to the refractometry

In order to encourage daily practices that facilitate the construction of new ways of teaching and learning science is presented in a didactic framework enrolled at school science education, whose starting point is a triggering question: once developed the concepts associated with reflection-refraction of light in the classroom. How could estimate the concentration of sweet soda? It approaches concepts of geometrical optics in the physical classroom: reflection and refraction of light, integrating contents of chemical as chemical solutions and concentration calculation.

**Keywords:** Reflection and refraction of light; Simple experiences of science; Scientific models; Teaching of the experimental sciences.

## Introducción

El aprendizaje de las ciencias debe ser una aventura potenciadora del espíritu científico: la aventura que supone enfrentarse a problemas abiertos, participar en la construcción tentativa de soluciones, buscar respuestas a preguntas investigables, etc. Bajo este supuesto la finalidad de enseñar y aprender ciencia, en definitiva, es hacer ciencia (Gil *et al.* 2005).

Actualmente existe un amplio consenso sobre la necesidad de que los docentes incorporen nuevas dimensiones de las Ciencias Naturales en su enseñanza, particularmente se propicia un enfoque que tenga en cuenta el proceso de producción del conocimiento científico (Porlán 1999).

Esta propuesta didáctica establece como objetivos la adquisición de conocimientos científicos funcionales (Pozo y Postigo 2000), por medio de actividades científicas escolares (Izquierdo 1990), como así también, propone que los estudiantes sean constructores de su propio conocimiento y no meros receptores y transmisores de conocimientos.

## Fundamentos teóricos

Para describir las direcciones en las que se propaga la luz, a menudo conviene representar una onda luminosa por medio de rayos.

Para simplificar, es frecuente que se dibuje un solo rayo de cada haz. La representación de estas ondas en términos de rayos es la base de la óptica geométrica. Comenzaremos nuestro estudio con el comportamiento de un rayo individual.

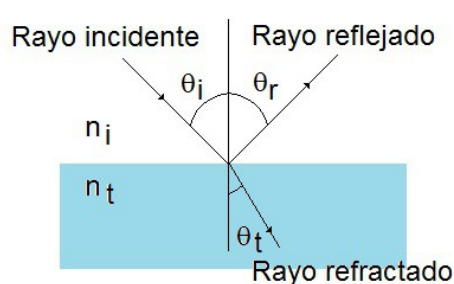


Figura 1. Esquema de la marcha de rayos.

Cuando una onda luminosa incide en una interfaz lisa que separa dos materiales transparentes (como el aire y el agua), la onda en general es reflejada parcialmente y también refractada (transmitida) parcialmente hacia el segundo material. Describimos las direcciones de los rayos incidente, reflejado y refractado (transmitido) en una interfaz lisa entre dos materiales ópticos en términos de los ángulos que forman con la normal (perpendicular) a la superficie en el punto de incidencia, como se ilustra en la figura 1.

El índice de refracción de un material óptico, denotado por  $n$ , se define como la razón entre la rapidez  $c$  de la luz en el vacío y la rapidez  $v$  de la luz en el material:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (1)$$

Los estudios experimentales de las direcciones de los rayos incidentes, reflejados y refractados en una interfaz lisa entre dos materiales ópticos condujeron a las conclusiones que se exponen a continuación:

- Los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la superficie, yacen todos en el mismo plano. El plano de los tres rayos es perpendicular al plano de la superficie de frontera o límite entre los dos materiales. Siempre se dibujan los diagramas de los rayos de manera que los rayos incidente, reflejado y refractado estén en el plano del diagrama.
- El ángulo de reflexión  $\theta_r$  es igual al ángulo de incidencia  $\theta_i$  para todas las longitudes de onda y para cualquier par de materiales. Esta relación, junto con la observación de que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal yacen en el mismo plano, se conoce como ley de reflexión.
- Para la luz monocromática y para un par dado de materiales, «i» y «t» en lados opuestos de la interfaz, la razón de los senos de los ángulos  $\theta_i$  y  $\theta_t$ , donde los dos ángulos están medidos a partir de la normal a la superficie, es igual al inverso de la razón de los dos índices de refracción:

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_t} = \frac{n_t}{n_i}. \quad (2)$$

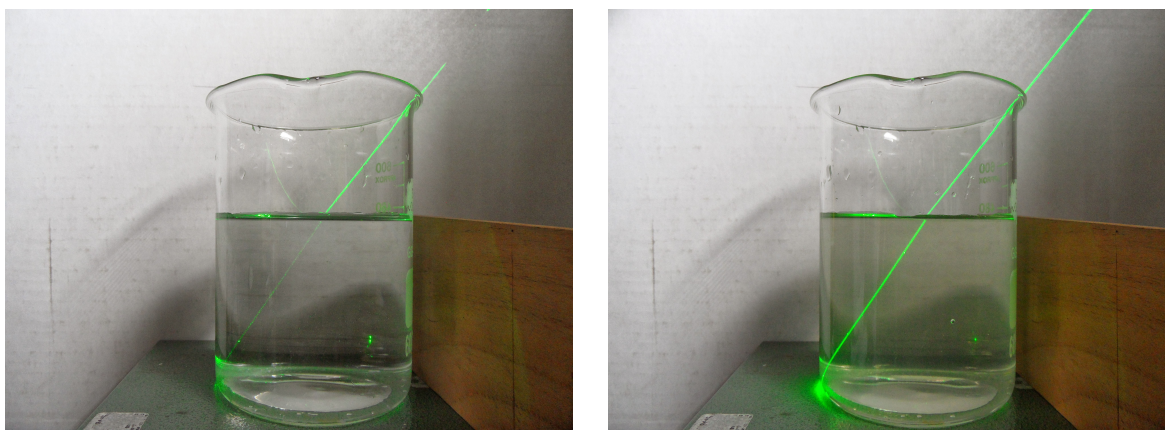
Este comportamiento que presenta la luz al atravesar un material y pasar a otro medio es lo que nos hace percibir a un objeto bajo el agua como si estuviera en una posición más próxima a la que en realidad ocupa. Esto se debe a que los rayos de luz provenientes de cualquier objeto sumergido en agua se desvían alejándose de la normal cuando salen al aire. Desde el punto de vista de un observador situado sobre la superficie del agua, el objeto parece estar mucho más cerca de la superficie de lo que en realidad está.

La refractometría es una técnica analítica que consiste en la medida del índice de refracción de un líquido con objeto de investigar su composición, si se trata de una solución, o su pureza, si es una sustancia.

El principio de esta técnica es la medición del cambio de dirección que sufre el haz de luz al pasar de un medio a otro. Actualmente tiene una aplicación importante en pruebas de control de calidad de jarabes, jugos, aceites, vidrio, hidrocarburos aromáticos, entre otros, así como en las áreas de investigación y desarrollo de nuevos productos de las industrias alimenticia, química, petroquímica, farmacéutica, etc.

Los refractómetros son instrumentos de medición que basan su funcionamiento en el fenómeno de refracción de la luz. Las determinaciones refractométricas se fundamentan principalmente en supuesto de que al aumentar la densidad de una solución se origine un incremento en el valor del índice de refracción. De este modo cuando se produce un gradiente de concentración en una solución cabe esperar que el cambio en el índice de refracción sea proporcional.

En la figura 2 se observa la luz de un láser que incide desde el aire (con humo en suspensión para su visualización) y que se transmite por agua destilada (figura de la izquierda) y por una solución azucarada (figura de la derecha). Con este arreglo experimental, la variación en la trayectoria del rayo es muy pequeña para poder ser medida y, por lo tanto, tendremos que idear un dispositivo que, basado en este principio, pueda amplificar tal desviación para que la experiencia pueda llevarse a cabo.



**Figura 2.** Refracción de la luz en agua (izquierda) y agua azucarada (derecha). Se han trabajado el brillo, el contraste y la nitidez de las fotografías para poder apreciar mejor los rayos.

## Metodología

### Contextualización y participantes

Esta propuesta didáctica fue implementada en dos cursos de 5° año de educación secundaria con orientación en Ciencias Naturales pertenecientes al Colegio Nacional «Dr. A. U. Illia» de la UNMDP, participando 61 alumnos (en la franja de 16-17 años).

### Propuesta didáctica

Instaurada en el aula la pregunta «¿Cómo podrían estimar la concentración de azúcar en una bebida gaseosa?», surge un espacio de discusión con el propósito de encontrar una solución dentro del marco de estudio de la reflexión-refracción de la luz. Se llega a la conclusión que

podría medirse el ángulo de refracción de la luz al pasar por una muestra problema y comparar su desviación respecto de una muestra patrón.

Con el objetivo de encontrar un método simple para observar las variaciones del índice de refracción de una solución líquida, al variar la concentración de azúcar, se estudia la posibilidad de construir distintos recipientes contenedores sobre los que se pudiera hacer incidir luz y medir en forma apropiada el ángulo de desviación.

### Materiales y procedimiento

El trabajo se realizó en dos etapas. Primero se diseñó y construyó el refractómetro y luego se midieron las concentraciones de azúcar en las muestras de gaseosas consideradas.

#### 1°) Construcción y ajuste del refractómetro

##### Materiales

- Dos prismas, de acrílico, cuyas bases lo forman triángulos isósceles de lados iguales a 6 cm de longitud, separadas 1,2 cm.
- Dos placas rectangulares de acrílico, de tamaño 6 cm x 12 cm y 0,2 cm de espesor.
- Puntero láser verde.
- Papel milimetrado.
- Agua destilada y azúcar de mesa (sacarosa).

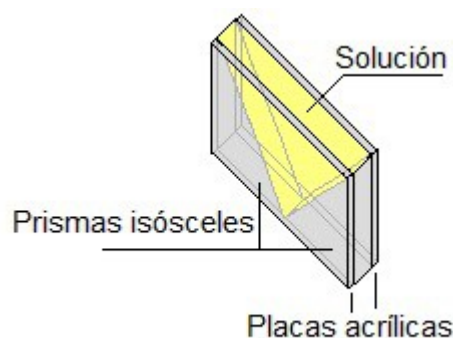
##### Arreglo experimental

En la construcción del dispositivo se utilizaron dos prismas cuyas bases son un triángulo rectángulo isósceles de acrílico, que fueron dispuestos enfrentados por su ángulo agudo y vinculados lateralmente por dos paredes acrílicas, figura 3. El espacio libre entre los prismas forma un recipiente que permite alojar a las soluciones con las que se va a trabajar durante el desarrollo de la experiencia.

Cabe destacar que se eligió este tipo de dispositivo experimental y no una simple cubeta de caras paralelas ya que en ella solo se da un desplazamiento transversal de la luz y no un cambio de ángulo de salida, que es lo que amplifica el efecto al proyectar en la pantalla el rayo desviado. Se pudo haber utilizado una cubeta con un solo prisma y la otra cara plana pero se optó por esta configuración principalmente por dos motivos: i) aprovechar la cubeta para también mostrar la refracción bajo distintos ángulos y medios; ii) producir una mayor desviación del haz de luz, puesto que los índices de refracción de la solución y del agua destilada son muy cercanos y la desviación del haz es mínima (tal como se aprecia en la figura 2).

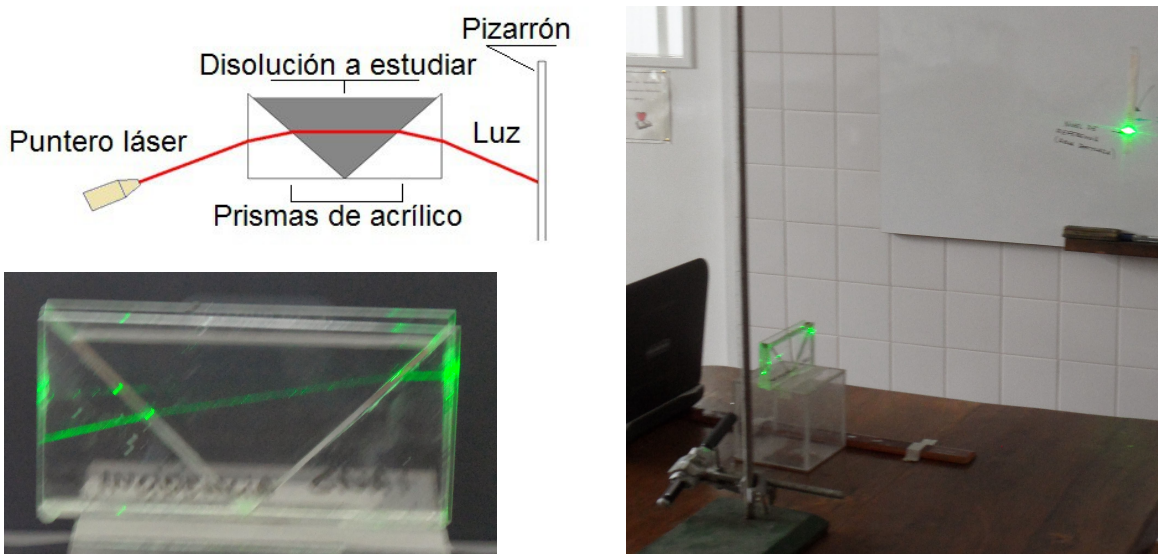
En la figura 4 se muestra la disposición del láser, el recipiente y la luz incidiendo sobre el pizarrón. La proyección de la luz sobre la pizarra adoptará distintas posiciones dependiendo de la solución con que se rellene el dispositivo.

Al hacer incidir luz por una de las caras del refractómetro, ésta se desvía dependiendo del índice de refracción de la solución alojada, tal como se muestra en la figura 5. El haz converge sobre una escala milimetrada situada a 1,5 m del refractómetro, sobre el pizarrón.



**Figura 3.** Esquema de la disposición de prismas que componen el refractómetro.

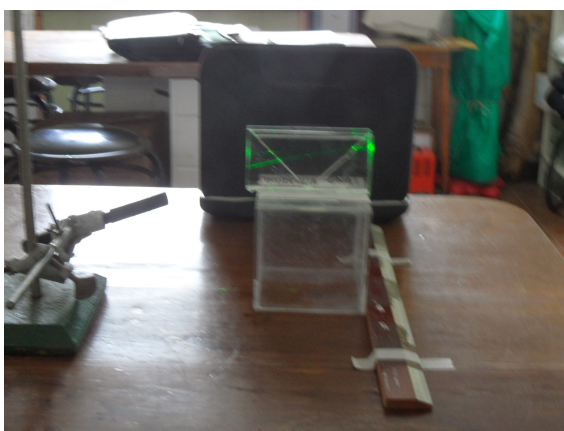




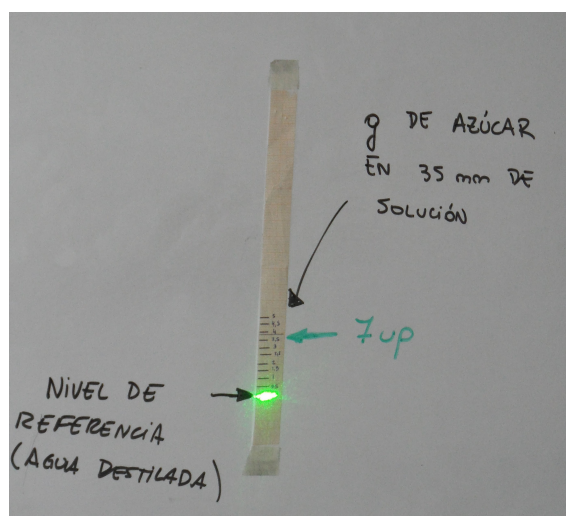
**Figura 4.** Esquema y fotografías que muestran la desviación que sufre el haz de luz al atravesar el refractómetro.

Para calibrar el sistema se preparan con agua destilada soluciones de agua azucarada de distinta concentración (véase la tabla 1). El valor de referencia es una muestra de agua destilada, denominada muestra cero. A partir de éste valor se registran los corrimientos,  $Y$ , producidos por las soluciones azucaradas utilizadas. Para evitar errores en las mediciones asociados a la variación de la temperatura se trabaja con todas las soluciones azucaradas y con la muestra cero a 21 °C. En la figura 6 se muestran los corrimientos que sufre el haz para distintas soluciones azucaradas.

Para calibrar el sistema se preparan con agua destilada soluciones de agua azucarada de distinta concentración (ver tabla 1). El valor de referencia es una muestra de agua destilada, denominada muestra cero. A partir de éste valor se registran los corrimientos,  $Y$ , producidos por las soluciones azucaradas utilizadas. Para evitar errores en las mediciones asociados a la variación de la temperatura se trabaja con todas las soluciones azucaradas y con la muestra cero a 21 °C. En la figura 6 se muestran los corrimientos que sufre el haz para distintas soluciones azucaradas.



**Figura 5.** Fotografía del refractómetro, en ella se observan las desviaciones que experimenta el haz de luz al atravesar diferentes medios.



**Figura 6.** Luz refractada sobre el papel milimetrado. Cada marca señala el corrimiento  $Y$ .

Los valores obtenidos de los corrimientos asociados a cada una de las muestras de agua azucarada preparadas se muestran en la tabla 1.

#### Procesamiento de datos

Al graficar el corrimiento,  $Y$  [mm], en función de la concentración  $X$  [g/ml], tal como se aparece en la figura 7, se observa un comportamiento presumiblemente lineal. Se aproxima mediante una recta de mínimos cuadrados, como muestra la figura 7, dando como resultado:

$$Y = 390 X + 0,096 . \quad (3)$$

Esto permite establecer un método mediante el cual se pueda realizar la estimación de la concentración de azúcar en distintas soluciones azucaradas.

**Tabla 1.** Distintas concentraciones de azúcar en agua y el corrimiento  $Y$  correspondiente.

Orden	Muestra	Volumen [ml]	Concentración $X$ [g/ml]	Corrimiento $Y$ [mm]
0	0	35	0	0
1	1	35	0,014	5
2	2	35	0,029	11
3	3	35	0,043	16,5
4	4	35	0,057	23
5	5	35	0,071	28,5
6	6	35	0,086	34
7	7	35	0,100	39,5
8	8	35	0,114	45
9	9	35	0,129	50
10	10	35	0,143	55

#### 2°) Estimación de la concentración de azúcar en distintas bebidas gaseosas

##### Materiales

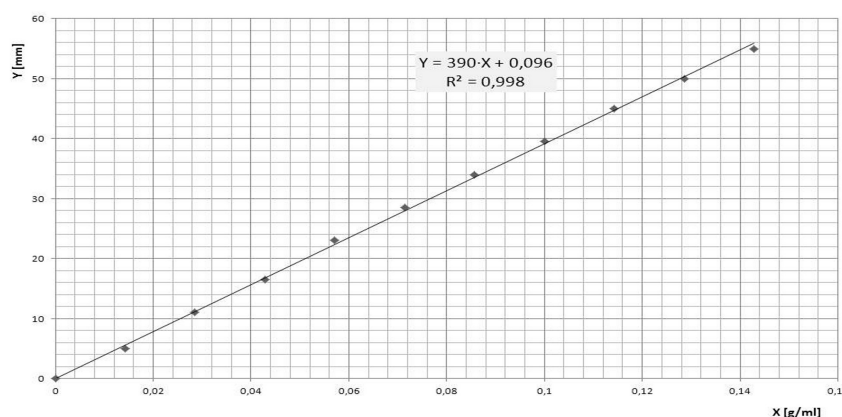
- Dispositivo refractómetro.
- Gaseosas traslúcidas (lima/limón y agua tónica).

##### Procedimiento

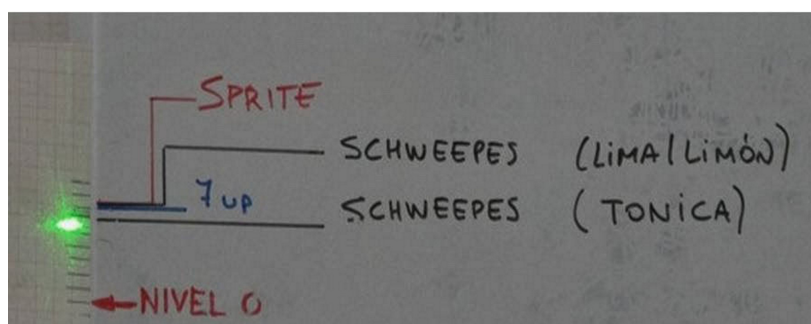
Para realizar la estimación de la concentración de azúcar en las bebidas gaseosa seleccionadas (*Schweppes tónica – 7 Up – Schweppes lima/limón – Sprite*) previamente se les extrae el gas revolviendo suavemente y dejándolas reposar en un balón tapado durante seis días hasta que no se observen burbujas en el líquido en reposo, ni tampoco al derramar éste dentro del refractómetro.

Luego de calibrar el dispositivo, como se indica en la primera parte, se toma una muestra de 35 ml de cada una de las gaseosas seleccionada y se vierten en el refractómetro.

Dada la linealidad que hemos asumido, al momento de querer medir otra concentración, simplemente mediremos la desviación sufrida por las muestras de gaseosas a ser analizadas (figura 8), y especificaremos estas desviaciones en la ecuación (3) que se corresponde con la figura 7 para obtener la concentración.



**Figura 7.** Corrimiento Y en función de la concentración X de azúcar disuelta en agua destilada.



**Figura 8.** Desviaciones sufridas por el haz para las distintas gaseosas.

## Resultados

Para cada muestra de gaseosa se realiza tres veces la medición y se tabula un corrimiento promedio de cada muestra, al cual se le denomina  $Y_p$ .

Utilizando el gráfico que aparece en la figura 7 y la ecuación (3) se logra estimar la concentración X en cada gaseosa que corresponde a cada valor  $Y_p$ . Por otra parte, tomando como base los valores nutricionales aportados por el fabricante de las gaseosas, se puede calcular la concentración real de cada una de ellas, la cual denominamos  $X_g$ . Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** Corrimiento promedio  $Y_p$  medido en la pantalla para cada gaseosa, concentraciones X estimadas y concentraciones  $X_g$  suministradas por el fabricante de la gaseosa.

Gaseosa	$Y_p$ [mm]	X [g/ml]	$X_g$ [g/ml]
Schweppes tónica	36,5	0,093	0,085
7 Up	42	0,107	0,104
Schweppes lima/limón	43,5	0,111	0,105
Sprite	44	0,113	0,107

Para analizar la eficacia en la estimación de las concentraciones trazamos la recta de ajuste obtenida en un gráfico Y vs. X, como se muestra en el gráfico de la figura 9. La incerteza que

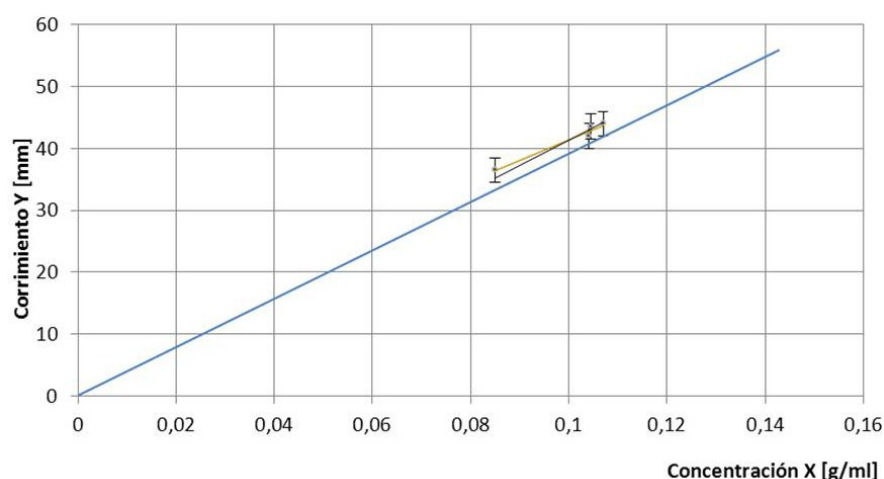
se asigna al corrimiento medido es  $\Delta Y = \pm 2$  mm. Se ubican posteriormente los puntos  $(X_g, Y_p)$  con las consecuentes incertezas en la medición de  $Y_p$ .

Del análisis de los puntos se concluye que:

- La recta de ajuste atraviesa el intervalo de incertidumbre correspondiente a cada una de las gaseosas lima/limón.
- El valor correspondiente al agua tónica, incluso teniendo en consideración su intervalo de incerteza, escapa a la recta.

#### *Análisis de los resultados*

Al analizar los resultados obtenidos en cada medición para cada muestra de gaseosa se observan que son muy próximas a las concentraciones que establece el fabricante de las gaseosas, según consta en las páginas web de *Schweppes tónica*, *7 Up*, *Schweppes lima/limón* y *Sprite*, consultadas en 2013 (Coca Cola 2013, Dr. Pepper/Seven Up 2013). Sin embargo, no es posible estimar una buena cota para el error dado lo sencillo del dispositivo experimental, específicamente el mayor inconveniente está dado por el ancho del haz de luz del láser. De esta manera, con la intención de ver la consistencia del método, comparamos los valores hallados con los que eran esperables.



**Figura 9.** Concentración de las gaseosas con la incertidumbre dada para el corrimiento.

Al graficar los valores de la concentración de azúcar establecidas por el fabricante, se encuentra que estos puntos se sitúan levemente sobre la recta de ajuste que utilizamos. Esto podría implicar que la concentración de azúcar medida en las gaseosas es inferior a la prevista, dado que hay disueltas otras sustancias que, aunque no tan ópticamente activas, influyen en las mediciones realizadas.

Por otra parte se aprecia un comportamiento lineal –en bajas concentraciones– que se correlaciona con las concentraciones estudiadas. Esto permite a los alumnos desarrollar un método y poder aplicarlo a una situación práctica, convirtiéndose así en una experiencia estimulante para la ciencia escolar.

### **Consideraciones finales**

El trabajar en el aula de física con preguntas investigables, exige la formulación de ideas o predicciones y la organización de acciones por parte del alumno. Por otro lado, el planteo de



la solución contempla una fase cognitiva (representación mental) y una fase práctica (la ejecución del diseño). Este tipo de estrategia ayuda al alumnado tanto a aprender ciencia como sobre la naturaleza de la ciencia, proporcionando la oportunidad de «hacer ciencia».

Diversas investigaciones educativas (Huertas 1997, Núñez *et al.* 1995) destacan que la utilización en el aula de ciencias de una estrategia didáctica basada en actividades experimentales; logran un aumento en la motivación del alumnado, lo que redundará en una mejora del aprendizaje.

En la actualidad, dentro de la enseñanza de las ciencias se considera importante hacerlas llegar a todos los alumnos como algo útil, relacionado con la vida real y enseñar una ciencia escolar (Acevedo 2004), por ello mediante esta experiencia tratamos de acercar los fenómenos científicos a la vida cotidiana de los alumnos, favoreciendo la creatividad, la reflexión y el desarrollo del pensamiento científico, siendo los estudiantes constructores de su propio conocimiento y no meros receptores y transmisores de conocimientos.

## Referencias

- Acevedo J. A. (2004) Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 1(1), 3-16.
- Coca Cola (2013) Página oficial de Coca Cola Argentina: <http://cocacoladeargentina.com.ar/producto/sprite>; <http://cocacoladeargentina.com.ar/producto/schweppes-lima-limon>; <http://cocacoladeargentina.com.ar/producto/schweppes-agua-tonica>
- Dr. Pepper/Seven Up (2013) Página oficial Dr. Pepper/Seven Up, Inc: <http://es.7up.com/products/#/7up>
- Huertas J. A. (1997) *Motivación: querer aprender*. Buenos Aires. Editorial AIQUE.
- Izquierdo M. (1999) Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias* 17(1), 45-59.
- Gil D., Sifredo C., Valdés P., Vilches A. (2005) ¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?, pp. 15-28 en *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago. UNESCO, Chile.
- Núñez J., González-Pienda J., González Pumariaga S., Cabanach R., Barca A., Valle A., Porto A., Santorum R. (1995) Motivación, cognición y rendimiento académico. *Revista Galega de Psicopedagogía* 12(8), 183-209.
- Porlán R. (1999) Hacia un modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias por investigación, pp. 23-64 en *Enseñar ciencia naturales. Reflexiones y propuestas didácticas*, M. Kaufman y L. Fumagalli (eds.). Buenos Aires. Paidós.
- Pozo J. I., Postigo Y. (2000) *Los procedimientos como contenidos escolares*, Colección Innova. Barcelona. Edebé.