

Aprender física y química “jugando” con laboratorios virtuales

Juan José Serrano Pérez

Resumen: Las nuevas tecnologías tienen un gran impacto en todos los aspectos de nuestra sociedad, incluyendo la enseñanza y el mundo académico en general. Por lo que respecta al proceso de enseñanza-aprendizaje, las modernas corrientes pedagógicas fomentan un rol más activo por parte del alumnado, junto con actividades motivantes que den lugar a un aprendizaje significativo. Y dado que una forma excelente de aprender es jugando, los videojuegos educativos están actualmente en boga. En este artículo se propone el uso de laboratorios virtuales que permita a los estudiantes desarrollar toda una serie de competencias clave.

Palabras clave: gamificación, laboratorios virtuales, constructivismo, aprendizaje significativo, simulaciones.

Abstract: New technologies have a great impact in our society, including learning and academia in general. Regarding the teaching and learning process, the new pedagogical trends foster a more active students' role, together with motivating activities which give rise to meaningful learning. And since learning through play is an excellent way of learning, educational videogames are currently in vogue. In this paper the use of virtual labs is suggested to allow students to develop several key competencies.

Keywords: gamification, virtual laboratories, constructivism, significant learning, simulations.

INTRODUCCIÓN

La educación científica y tecnológica está experimentando un profundo cambio, tanto a nivel de medios como de estilos pedagógicos, así como de enfoque y perspectiva,^[1-3] principalmente por la aplicación de las *Tecnologías de la Información y la Comunicación* (TIC) al proceso de enseñanza-aprendizaje. Cuando estas herramientas están adecuadamente integradas en el currículo, suelen denominarse *Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento* (TAC).

No sólo la enseñanza presencial tradicional está siendo complementada con otras modalidades como *e-learning*, *b-learning* y *m-learning*,^[4] sino que se ha asentado en las modernas corrientes pedagógicas un cambio de paradigma: pasar de un sistema educativo basado en la enseñanza a otro distinto basado en el aprendizaje, alejándose de la perspectiva “tradicional” según la cual “contar” algo en clase equivalía a “enseñar”. En otras palabras, la típica clase magistral se está convirtiendo en un concepto anacrónico.^[5]

En la actualidad impera una corriente constructivista^[6-8] en la cual el docente, más que un mero transmisor

de conocimientos, es un guía o facilitador cuyo trabajo consiste en diseñar entornos de aprendizaje adecuados para que el discente los haga suyos, y así pueda aprender a partir de sus conocimientos previos. En definitiva, se trata de fomentar el aprendizaje activo y significativo mediante el uso de estrategias metodológicas centradas en el estudiante.

Este tipo de aprendizaje está demostrando ser muy útil en el caso de la enseñanza de materias de ciencias.^[9,10] En este sentido, la clave es conseguir que el estudiante no se muestre pasivo en el aula, sino que participe y actúe. Esto se expresa de forma muy adecuada con el *cono de la experiencia* de Dale,^[10-13] que representa la profundidad del aprendizaje realizado con la ayuda de diversos medios. Básicamente muestra que cuanto más activamente implicado esté el alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje, más significativo le resultará dicho proceso. Esto está relacionado, a su vez, con la *taxonomía de Bloom*^[14] de los objetivos didácticos, pudiendo llegar el discente a llevar a cabo actividades cognitivas de orden superior si su implicación es la adecuada.



J. J. Serrano
Pérez

Universidad Europea de Valencia
Departamento de Ciencias Biomédicas
c/General Elío, 8, 46010 Valencia (España)
C-e: juanjose.serrano@universidadeuropea.es

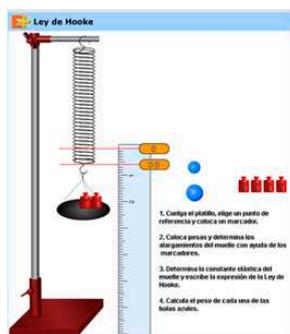
Recibido: 24/07/2017. Aceptado: 04/12/2017.

LABORATORIOS VIRTUALES

Los laboratorios virtuales son plataformas interactivas que se adaptan a diferentes estilos y ritmos de aprendizaje.^[4,15-19] De hecho, nos encontramos páginas web gratuitas con experiencias virtuales en todas las ciencias básicas, como física,^[4,16,20-22] química^[18,23-25] o biología^[26-28] (véase Tabla 1 y Figuras 1-3). Su uso en asignaturas científicas está actualmente en boga por una serie

Tabla 1. Ejemplos de laboratorios virtuales en inglés y/o en español, válidos para diferentes niveles educativos (Primaria, Secundaria, Bachillerato y Universidad)

Título	Web	Materias	Áreas de Física y Química
Phet Interactive Simulations	http://bit.ly/1JZCOMn	Física, Química, Biología, Matemáticas y Ciencias de la Tierra	Movimiento; Sonido y Ondas; Trabajo, Energía y Potencia; Calor y Termoelectricidad; Fenómenos Cuánticos; Luz y Radiación; Electricidad, Imanes y Circuitos; Química General; Química Cuántica.
Educaplus	http://bit.ly/1mwmN38	Física, Matemáticas, Química, Biología, Ciencias de la Tierra y Tecnología	Magnitudes; Cinemática; Dinámica; Energía; Termodinámica; Electroestática; Ondas; Cuántica; Elementos; Enlaces; Reacciones; Ionización; Gases; Formulaci6n.
Blog Laboratorio Virtual, de Salvador Hurtado Fernández	http://bit.ly/2zpB8M7	Física y Química	Cinemática; Dinámica; Estática; Energía, Trabajo y Calor; Movimiento Armónico Simple; Estática de Fluidos; Ondas; Electroestática; Electrodinámica; Óptica; Física Cuántica; Física Nuclear.
Fisquiweb	http://bit.ly/2dAcrAM	Física	Cinemática; Dinámica; Rozamiento; Energía; Ondas; Circuitos.
Virtual Amrita Labs	http://bit.ly/2zY008g	Física, Química, Ingeniería y Biotecnología	Electricidad y Magnetismo; Calor y Termodinámica; Movimiento Armónico y Ondas; Física Moderna; Óptica; Mecánica; Circuitos Eléctricos; Mecánica Avanzada; Óptica de Láseres; Física del Estado Sólido; Química Física; Química Orgánica; Química Inorgánica; Química Analítica.



(a)



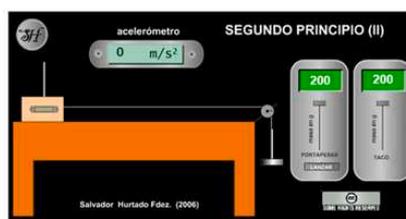
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 1. Algunos laboratorios virtuales de física: (a) <http://bit.ly/2xKyBv>; (b) <http://bit.ly/2gUJCq>; (c) <http://bit.ly/2zpxEch>; (d) <http://bit.ly/2h57NiC>; (e) <http://bit.ly/2imLYNH>; (f) <http://bit.ly/2xKyMDf>

de razones:^[4,19,22-25,28-36] fomentan el trabajo en equipo, son motivantes, implican menos costes que los laboratorios tradicionales, fomentan la creatividad y un aprendizaje más autónomo, permiten repetir las experiencias tantas veces como sea necesario, disminuyen el miedo al error y al fracaso por parte del estudiante, facilitan la introducción de métodos híbridos de aprendizaje y actividades como el *flipped classroom* o “aula invertida” (https://economia.elpais.com/economia/2015/10/30/actualidad/1446206875_723926.html), son fácilmente “gamificables” (esto es, resulta relativamente sencillo im-

plementar mecánicas de juego con fines didácticos, tal y como se explicará más adelante) y permiten al docente llevar a cabo actividades de laboratorio sin tener que cambiar de aula.

Dentro de estas páginas web destaca *Phet Interactive Simulations*,^[18,21,32,37-39] (fundada en 2002 por el ganador del Premio Nobel de Física Carl Wieman), *Educaplus* o el blog *Laboratorio Virtual* del profesor Salvador Hurtado Fernández, aunque navegando por Internet nos podemos encontrar muchos otros ejemplos útiles en mecánica cuántica,^[39] química cuántica,^[24] química orgánica,^[25] o biofísica.^[22]

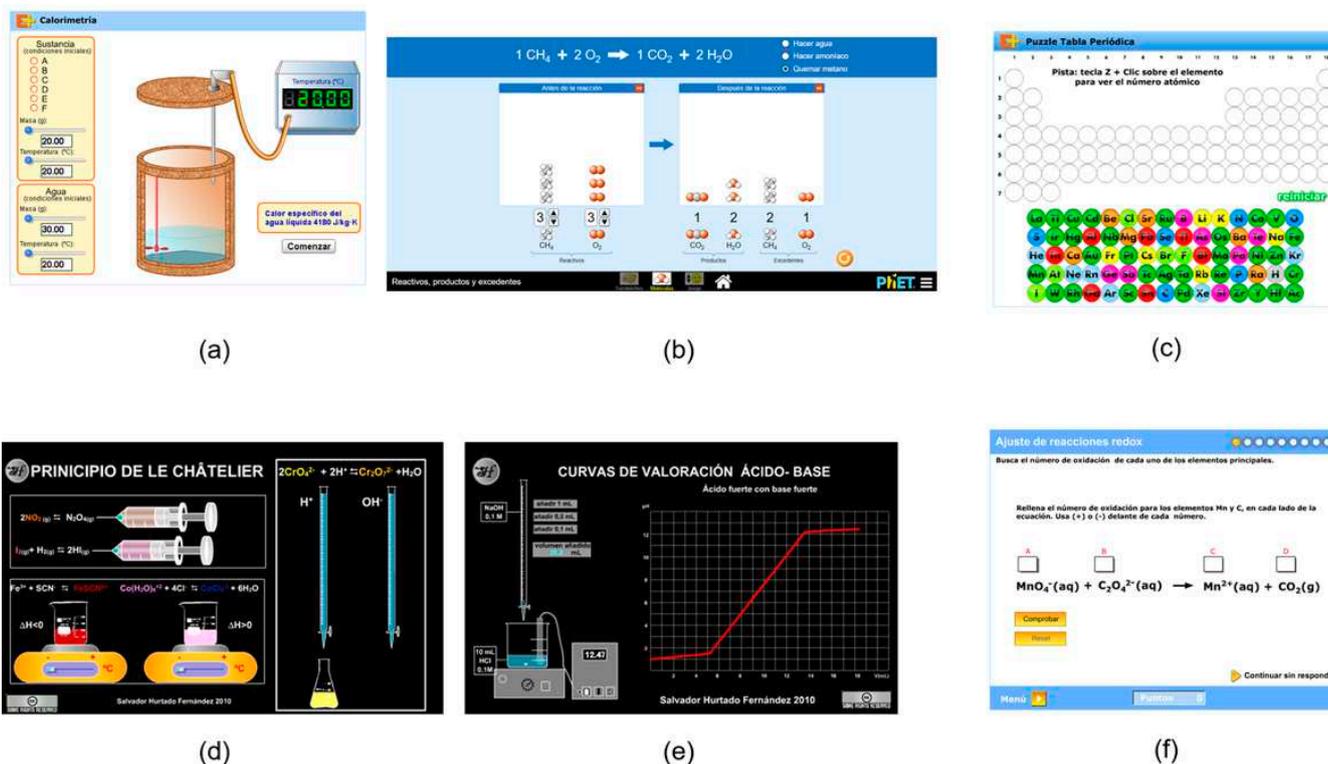


Figura 2. Algunos laboratorios virtuales de química: (a) <http://bit.ly/2zcN8zV>; (b) <http://bit.ly/1YnBli6>; (c) <http://bit.ly/2zyGvCb>; (d) <http://bit.ly/2xMe6dY>; (e) <http://bit.ly/2ilxyI5>; (f) <http://bit.ly/2xLL6De>

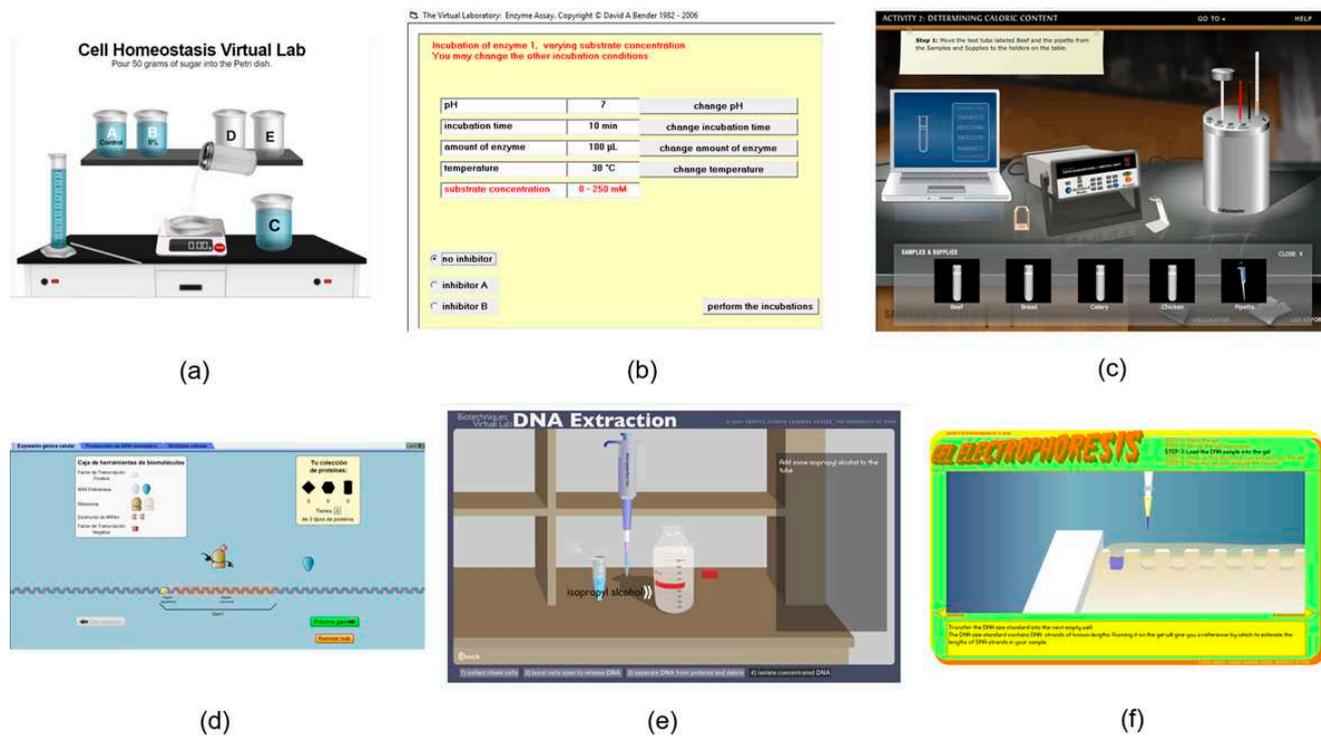


Figura 3. Algunos laboratorios virtuales de biofísica y bioquímica: (a) <http://bit.ly/2k6Jbqd>; (b) <http://bit.ly/2zoZ1Ud>; (c) <http://bit.ly/2h4wGeq>; (d) <http://bit.ly/2iUdPTD>; (e) <http://bit.ly/2A4RQgZ>; (f) <http://bit.ly/2hvhKTx>

GAMIFICACIÓN, APRENDIZAJE BASADO EN JUEGOS Y USO DE VIDEOJUEGOS

La *gamificación*^[40,41] se define como la utilización de mecánicas de juego en entornos no lúdicos para promover el desarrollo de ciertas habilidades (verbigracia: el uso de *Kahoot!* (<https://kahoot.com/>) para repasar conceptos mediante competiciones). Así, podemos tener diferentes mecánicas (retos, competición, cooperación, *feedback*, recursos, turnos, etc.) y componentes (premios, avatares, insignias, clasificaciones, niveles, puntos, equipos, etc.). Hay que destacar que, en este caso, los estudiantes no juegan a un juego, sino que usan dinámicas propias del juego. En cambio, el *aprendizaje basado en juegos* (*game-based learning*, GBL) consiste en la utilización de juegos como recursos didácticos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. De este modo, tenemos diferentes aplicaciones de herramientas de gamificación en física y química,^[42] en química física,^[43,44] química general^[45-47] y, en general, en todas las áreas de la química,^[48-50] utilizando juegos de rol clásicos o programas de concurso como *Pasapalabra*, *¿Quiere ser millonario?*, puzles, *Tabú*...

Un paso más que aúna la gamificación y/o el GBL con las TIC es el uso de videojuegos con fines educativos.^[51-53] Un videojuego es un juego electrónico que puede visualizarse en una pantalla, sea un televisor, una tableta o un *smartphone*. Nadie duda actualmente del gran impacto de los videojuegos en nuestra sociedad, siendo un fenómeno que, si bien tiene su origen en la década de 1950, empezó a tener más importancia a lo largo de la década de 1980 y despegó definitivamente con la entrada en el siglo XXI. Así, algunas sagas famosas de videojuegos ya forman parte del imaginario colectivo al mismo nivel que muchas películas, libros y canciones.

En los últimos años ha surgido un gran interés por los beneficios de los videojuegos a nivel cognitivo, motivacional, emocional y social, y su impacto positivo en la educación.^[54-57] De hecho, su uso moderado puede tener grandes ventajas, aparte de su valor de entretenimiento, y ya deja de parecernos extraño, por ejemplo, que se pueda aprender química de polímeros a través de un videojuego.^[58] Así, tenemos videojuegos muy útiles en ciencias,^[58-60] como por ejemplo en química orgánica para repasar conceptos de estereoquímica.^[61]

Cabe destacar que, en general, hay muy pocas diferencias de diseño y de dinámica entre un laboratorio virtual y un videojuego científico educativo. Iniciativas como *Phet* o *Educaplus* explotan esta idea (en la primera se nos anima directamente a "jugar con las animaciones").^[38] Y, al igual que ocurre en los videojuegos, nos podemos encontrar laboratorios virtuales en "primera persona", que son la mayoría, y en los cuales podemos llevar a cabo un determinado experimento manipulando los componentes que nos ofrece la web, o en "tercera persona", en los cuales podemos ver a un avatar humano que se mueve por el laboratorio y que va siguiendo nuestras instrucciones, como en el caso de algunos de los labora-

torios virtuales de la Universidad Politécnica de Madrid (<https://3dlabs.upm.es/>).

Además, esta posibilidad lúdica podría animar a los estudiantes a que exploraran *motu proprio* los laboratorios virtuales, llevando a cabo experiencias diferentes a las propuestas en el aula, bien para repasar otros conceptos complementarios, bien por simple curiosidad, tanto de forma individual como grupal. En este sentido, constituyen un reto abordable para el estudiante, teniendo en cuenta sus competencias y su potencial, permitiendo que desarrolle su capacidad dentro de su *zona de desarrollo próximo*,^[6-8] que es la distancia entre el nivel de desarrollo efectivo del alumno (aquellos que es capaz de hacer por sí mismo) y su nivel de desarrollo potencial (aquellos que sería capaz de hacer con la ayuda del docente o de un compañero más capaz).

UN EJEMPLO SENCILLO

Una buena actividad interdisciplinar puede ser el estudio del metabolismo. Las reacciones metabólicas (catabólicas y anabólicas) no sólo tienen un gran interés en bioquímica, sino que también se relacionan con importantes conceptos de física y química general por su carácter energético y por la implicación de reacciones redox. El laboratorio "Comida y Ejercicio", disponible en *Phet Interactive Simulations* tanto en inglés como en español (véase Figura 4), puede resultar muy adecuado.

Los objetivos de la actividad son: (i) entender la relación entre alimentación y ejercicio físico en el funcionamiento del organismo, y (ii) diseñar diferentes tipos de dietas. El procedimiento experimental incluye los siguientes aspectos enfocados al discente:

Sigue los pasos desarrollados en la página web. Es mejor elegir la siguiente configuración de partida: sistema métrico; estilo de vida: elegir el que más convenga (muy sedentario/sedentario/actividad moderada/muy activo); edad: la de un miembro del grupo; altura: la de ese mismo miembro del grupo; grasa corporal: dejar la que determine automáticamente el programa.

En la simulación puedes ir modificando los alimentos ingeridos por el sujeto, así como la actividad física que realiza.

A continuación, tienes que hacer las siguientes simulaciones:

- En la primera, tienes que conseguir que el sujeto tenga un estilo de vida saludable alcanzando un equilibrio entre alimentación y actividad física.
- En la segunda, diseña un estilo de vida en la cual el sujeto adelgace continuamente. Cuando se acerque a un nivel crítico (o fallezca), intenta cambiar la dieta y el estilo de vida para recuperar un estado de salud óptimo.
- En la tercera, diseña un estilo de vida en la cual el sujeto engorde continuamente. Cuando se acerque

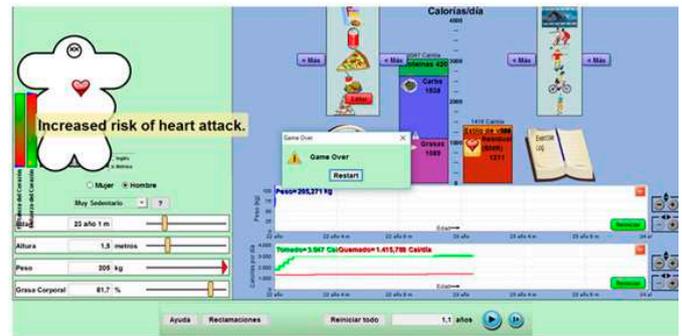
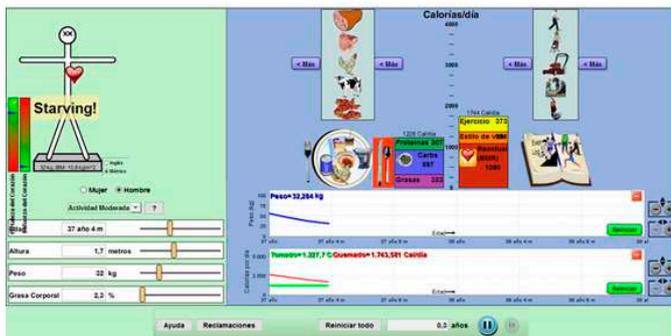
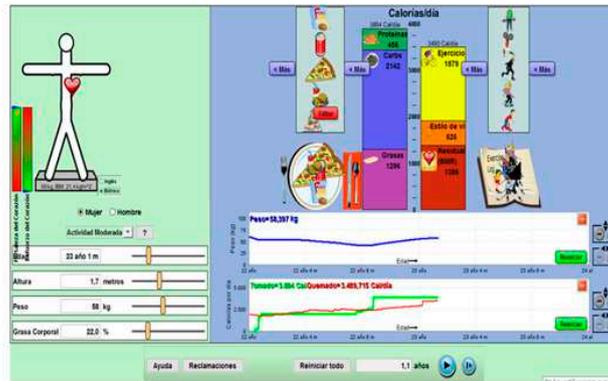


Figura 4. Imágenes del laboratorio “Comida y Ejercicio” (<http://bit.ly/2huDjUg>) disponible en Phet Interactive Simulations

© 2018 Real Sociedad Española de Química

a un nivel crítico, intenta cambiar la dieta y el estilo de vida para recuperar un estado de salud óptimo. Hay que tener cuidado porque el sujeto podría fallecer si no se cambia a tiempo el estilo de vida.

Para empezar cada simulación, pulsa PLAY. Durante la simulación, puedes ver cómo varía la forma del sujeto, así como el estado de su corazón. También puedes ver cómo varía su peso, la cantidad de calorías ingeridas y la cantidad de calorías quemadas. En todo momento puedes añadir o quitar alimentos y añadir o eliminar actividades físicas. Además, en la parte superior podrás ver desglosadas las calorías ingeridas (grasas, carbohidratos y proteínas) y las quemadas (residual, estilo de vida y ejercicio).

Por último, los estudiantes deben responder a una serie de cuestiones y debatir los resultados obtenidos y sus observaciones. Resulta interesante comparar cómo han resuelto los diferentes grupos de alumnos las situaciones críticas y quiénes han conseguido revertir la situación antes del fallecimiento del sujeto. Las preguntas son las siguientes:

- a) ¿En qué condiciones la masa de una persona se mantiene constante?
- b) En un estilo de vida saludable, ¿cuál es la relación entre la cantidad de calorías ingeridas y la cantidad de calorías quemadas?

- c) ¿Qué sucede si el sujeto adelgaza sin parar durante un tiempo determinado?
- d) ¿Qué sucede si el sujeto engorda sin parar durante un tiempo determinado?
- e) En ambos casos, ¿cuánto tiempo puede sobrevivir la persona? ¿Cuál ha sido la esperanza de vida en nuestro caso particular?
- f) ¿Crees que es posible, al menos en teoría, mantener un estilo de vida saludable sin apenas hacer ejercicio físico?
- g) Viendo los resultados, ¿qué suele tener un impacto mayor en la masa y la salud de la persona: la dieta o el ejercicio físico?

Por mi experiencia personal, al hacer esta actividad en clase he podido constatar un aumento de motivación por parte de los estudiantes, lo cual considero muy positivo porque, en ocasiones, el aprendizaje activo funciona mejor con estudiantes ya motivados de entrada, ya que los estudiantes poco motivados suelen preferir adoptar una actitud muy pasiva en el aula. Para “convencerles” de las ventajas de participar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, este tipo de experiencias de laboratorio presentadas como un videojuego pueden ser muy estimulantes. Por otro lado, el enfoque lúdico de la actividad puede animar a los estudiantes a experimentar por ellos mismos (fomentando al aprendizaje autónomo) y llevando a cabo experimentos alternativos que no están incluidos en el guion de prácticas. Así, algunos estudian-

tes se sorprenden de que el sujeto adelgace sin parar y no se quede en un peso constante si no le dan comida ni le fuerzan a hacer ejercicio, y a partir del debate en clase ya no se les olvida el concepto de *metabolismo basal* ni su importancia.

CONCLUSIONES

La enseñanza no puede ser ajena a los cambios en la sociedad actual, y por ello es muy importante aprovechar las oportunidades que nos brinda la tecnología. Además, no hemos de olvidar que los estudiantes del siglo XXI viven en una sociedad muy diferente a la de las postrimerías del siglo pasado, y por tanto los profesores actuales no deberíamos enseñar ciencias exactamente del mismo modo en que nos la enseñaron a nosotros. El uso de laboratorios virtuales a modo de videojuegos presenta grandes ventajas que podrían ser aprovechadas para aumentar el nivel de motivación y de implicación del alumnado, no sólo en enseñanzas medias sino también en estudios universitarios. Además, dado el carácter "abierto" que suelen tener estas simulaciones, es posible utilizarlos de diferentes formas para alcanzar objetivos didácticos muy variados, y también permiten que el estudiante explore por su cuenta diferentes alternativas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Sanmartí, I. Marchán, *Inv. y Cien.* **2015**, Octubre, 30-38.
- [2] J. S. Moore, P. A. Janowicz, *Nat. Chem.* **2009**, *1*, 2-4.
- [3] I. Jérez, F. Gómez-Bravo, *Rev. Esp. Fís.* **2011**, *25*, 40-46.
- [4] A. Franco, A. Beléndez, J. Ablanque, *Rev. Esp. Fís.* **2013**, *27*, 49-56.
- [5] E. Mazur, *Science* **2009**, *323*, 50-51.
- [6] C. Coll, E. Martín, T. Mauri, M. Miras, J. Onrubia, I. Solé, A. Zabala, *El constructivismo en el aula*, Editorial Graó, Barcelona, 18ª ed., **2007**.
- [7] J. I. Pozo, M. A. Gómez, *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*, Ediciones Morata, Madrid, 7ª ed., **2006**.
- [8] N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*, Editorial Síntesis, Madrid, 7ª ed., **2009**.
- [9] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, M. P. Wenderoth, *P. Natl. Acad. Sci.* **2014**, *111*, 8410-8415.
- [10] G. Pinto, P. Escudero, M. Martín, *An. Quím.* **2008**, *104*, 211-214.
- [11] G. Pinto, *An. Quím.* **2001**, *97*, 29-36.
- [12] M. T. Oliver-Hoyo, F. Alconchel, G. Pinto, *Rev. Esp. Fís.* **2012**, *26*, 38-44.
- [13] C. F. Herreid, *J. Chem. Educ.* **2012**, *90*, 256-257.
- [14] D. R. Krathwohl, *Theory Into Practice* **2002**, *41*, 212-264.
- [15] C. A. Alejandro Alfonso, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2004**, *3*, 202-210.
- [16] N. D. Finkelstein, W. K. Adams, K. K. Perkins, C. Wieman, *Journal of Online Learning and Teaching* **2006**, *2*, 110-121.
- [17] A. Franco, *Rev. Esp. Fís.* **2003**, *17*, 63-66.
- [18] E. B. Moore, J. M. Chamberlain, R. Parson, K. K. Perkins, *J. Chem. Educ.* **2014**, *91*, 1191-1197.
- [19] A. Pontes, P. Martínez, M. S. Climent, *An. Quím.* **2001**, *97*, 44-50.
- [20] N. D. Finkelstein, W. K. Adams, C. J. Keller, P. B. Kohl, K. K. Perkins, N. S. Podolefsky, S. Reid, R. LeMaster, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **2005**, *1*, 010103.
- [21] K. Perkins, W. Adams, M. Dubson, N. Finkelstein, S. Reid, C. Wieman, R. LeMaster, *The Physics Teacher* **2006**, *44*, 18-23.
- [22] J. M. Deutsch, *Am. J. Phys.* **2014**, *82*, 442-450.
- [23] Z. Tatli, A. Ayas, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* **2010**, *9*, 938-942.
- [24] J. H. Jensen, J. C. Kromann, *J. Chem. Educ.* **2013**, *90*, 1093-1095.
- [25] M. P. García Armada, D. Fernández-Avilés Pedraza en *IV Congreso de Docentes de Ciencias: Experiencias docentes y estrategias de innovación educativa para la enseñanza de la Biología, la Geología, la Física y la Química* (Eds.: M. González, A. Baratas, A. Brandi), Santillana, Madrid, **2016**, pp. 229-238.
- [26] A. Sanz, J. Martínez, *Tecnología Química* **2005**, *25*, 5-17.
- [27] T. A. Stuckey-Mickell, B. D. Stuckey-Danner, *Journal of Online Learning and Teaching* **2007**, *3*, 105-111.
- [28] D. Moreno Mediavilla, V. Pascual López, A. Palacios Ortega en *IV Congreso de Docentes de Ciencias: Experiencias docentes y estrategias de innovación educativa para la enseñanza de la Biología, la Geología, la Física y la Química* (eds.: M. González, A. Baratas, A. Brandi), Santillana, Madrid, **2016**, pp. 257-268.
- [29] G. Amaya Franky, *El Hombre y la Máquina* **2009**, *XXI*, 82-95.
- [30] J. Jiménez, A. M. Llitjós, *An. Quím.* **2005**, *101*, 47-53.
- [31] M. Maurel, N. Dalfaro, H. Soria, en *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación* (2014), pp. 677-671 - 677-616.
- [32] K. Perkins, W. Adams, M. Dubson, N. Finkelstein, S. Reid, C. Wieman, R. LeMaster, *The Physics Teacher* **2005**, *44*, 18-23.
- [33] M. I. Suero, A. L. Pérez, P. J. Pardo, G. Martínez, J. Gil, F. L. Naranjo, F. Solano, E. Cordero, *Rev. Esp. Fís.* **2013**, *27*, 65-67.
- [34] C. Tüysüz, *International Online Journal of Educational Sciences* **2010**, *2*, 37-53.
- [35] J. Monge Nájera, V. H. Méndez Estrada, *Revista Educación* **2012**, *31*, 18.
- [36] K. J. Kim, C. J. Bonk, *Educause Quarterly* **2006**, *4*, 22-30.
- [37] R. Khatri, C. Henderson, R. Cole, en *Physics Education Research Conference 2013* (IACSIT Press, Portland, OR, 2013), Vol. 12, pp. 205-208.
- [38] C. E. Wieman, K. K. Perkins, W. K. Adams, *Am. J. Phys.* **2008**, *76*, 393-399.
- [38] S. B. McKagan, K. K. Perkins, M. Dubson, C. Malley, S. Reid, R. LeMaster, C. E. Wieman, *Am. J. Phys.* **2008**, *76*, 406-417.
- [40] S. E. Grady, K. M. Vest, T. J. Todd, *Currents in Pharmacy Teaching and Learning* **2013**, *5*, 263-268.
- [41] M.-C. Li, C.-C. Tsai, *Journal of Science Education and Technology* **2013**, *22*, 877-898.
- [42] F. Quintanal Pérez, *Education in the Knowledge Society* **2016**, *17*, 13-28.
- [43] T. Daubefeld, D. Zenker, *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 269-277.
- [44] M. Antunes, M. A. R. Pacheco, M. Giovanela, *J. Chem. Educ.* **2012**, *89*, 517-521.

- [45] A. J. Franco-Mariscal, J. M. Oliva-Martínez, Á. Blanco-López, E. España-Ramos, *J. Chem. Educ.* **2016**, *93*, 1173-1190.
- [46] T. W. Stringfield, E. F. Kramer, *J. Chem. Educ.* **2014**, *91*, 56.
- [47] F. A. Esteve-Turrillas, S. Armenta, M. L. Cervera, M. De la Guardia, A. Pastor, A. Morales-Rubio, S. Garrigues, en *Congreso In-Red 2016: Congreso Nacional de Innovación Educativa y de Docencia en Red* (Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2016), pp. S.P.
- [48] P. L. Granath, J. V. Russell, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 485.
- [49] J. V. Russell, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 487.
- [50] J. V. Russell, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 481.
- [51] H. F. O'Neil, R. Wainess, E. L. Baker, *The Curriculum Journal* **2005**, *16*, 455-474.
- [52] A. Domínguez, J. Saenz de Navarrete, L. de Marcos, L. Fernández-Sanz, C. Pagés, J. J. Martínez-Herráiz, *Computers & Education* **2013**, *63*, 380-392.
- [53] M. N. Giannakos, *Computers & Education* **2013**, *68*, 429-439.
- [54] I. Granic, A. Lobel, R. C. M. E. Engels, *American Psychologist* **2014**, *69*, 66-78.
- [55] T. M. Connolly, E. A. Boyle, E. MacArthur, T. Hainey, J. M. Boyle, *Computers & Education* **2012**, *59*, 661-686.
- [56] L. A. Annetta, *Theory Into Practice* **2008**, *47*, 229-239.
- [57] M. Griffiths, *Education and Health* **2002**, *20*, 47-51.
- [58] R. A. Smaldone, C. M. Thompson, M. Evans, W. Voit, *Nat. Chem.* **2017**, *9*, 97-102.
- [59] M. Schrope, *P. Natl. Acad. Sci.* **2013**, *110*, 7104-7106.
- [60] S. A. Barab, B. Scott, S. Siyahhan, R. Goldstone, A. Ingram-Goble, S. J. Zuiker, S. Warren, *Journal of Science Education and Technology* **2009**, *18*, 305.
- [61] J. N. da Silva Júnior, M. A. Sousa Lima, J. V. Xerez Moreira, F. S. Oliveira Alexandre, D. M. de Almeida, M. d. C. F. de Oliveira, A. J. Melo Leite Junior, *J. Chem. Educ.* **2017**, *94*, 248-250.

www.unioviedo.es/mmmschool2018

XI

**INTERNATIONAL SCHOOL ON
ORGANOMETALLIC CHEMISTRY
MARCIAL MORENO MAÑAS**

**June 6-8th, 2018
Oviedo (Spain)**

