

Sistemas de ahorro de oxígeno. Una realidad olvidada

Diego Castillo, Rosa Güell y Pere Casan

Departamento de Neumología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. España.

Los sistemas de ahorro de oxígeno agrupan el catéter transtraqueal, las cánulas reservorio y los sistemas a demanda. Su objetivo es aumentar la autonomía de las fuentes de oxígeno portátiles consiguiendo una corrección de la hipoxemia con menor flujo de oxígeno. El catéter transtraqueal aumenta la fracción inspiratoria de oxígeno al proporcionar oxígeno directamente en la tráquea, lo que evita el espacio muerto de la cavidad orofaríngea y favorece que la vía aérea superior actúe como reservorio. Las cánulas reservorio aumentan la fracción inspiratoria de oxígeno al inicio de la inspiración. Los sistemas a demanda cuentan con una válvula que se activa con la inspiración, de modo que se administra oxígeno sólo durante esta fase del ciclo respiratorio. Debido a sus diferentes características, cada sistema presenta ventajas e inconvenientes. Para su correcta prescripción debe ajustarse individualmente el flujo de oxígeno tanto en reposo como durante el ejercicio o el sueño con las pruebas pertinentes.

Palabras clave: Ahorro de oxígeno. Catéter transtraqueal. Cánulas reservorio. Sistemas a demanda.

Oxygen-Conserving Devices: A Forgotten Resource

Oxygen-conserving devices include transtracheal catheters, reservoir cannulas, and demand oxygen delivery systems. They are designed to extend the amount of time portable oxygen cylinders will last and correct hypoxemia with a lower flow of oxygen. Transtracheal catheters increase the fraction of inspired oxygen by delivering oxygen directly to the trachea, bypassing the dead space of the oropharynx and improving the efficiency of the upper airway as a reservoir. Reservoir cannulas increase the fraction of inspired oxygen at the beginning of the inspiratory phase. Demand oxygen delivery systems have a valve that is activated during inspiration, meaning that oxygen is only delivered during this stage of the respiratory cycle. Each system has advantages and disadvantages arising from differing design features. Prescription should be based on individual tests in all cases to ensure optimal oxygen delivery during rest, exercise, and sleep.

Key words: Oxygen conservation. Transtracheal catheter. Reservoir cannula. Demand oxygen delivery systems.

Historia de la oxigenoterapia

La vida humana no puede entenderse sin la presencia de la molécula de oxígeno. Su ausencia es sinónimo de muerte; su presencia, de vida. La existencia del oxígeno se descubrió el 1 de agosto de 1774, gracias al trabajo del científico británico J. Priestley¹. Éste lo definió como un “aire puro que sin duda se convertiría en un artículo de lujo”. Paralelamente, sin conocer la existencia de dicho trabajo, el químico sueco C.W. Scheele² aisló también la molécula de oxígeno, aunque fue el primero al que la historia reservó la gloria. Años más tarde, este nuevo “aire” adquirió su denominación definitiva: A. Lavoisier, amigo de Priestley, y por tanto conocedor de sus experimentos, lo bautizó con el nombre de

“oxygene”³. El oxígeno se introdujo en la práctica médica durante el siglo XIX. El primer documento escrito que demuestra su eficacia terapéutica en el tratamiento de las enfermedades respiratorias se remonta a 1885, cuando el Dr. G. Holtzapfel lo usó con éxito en un joven neoyorquino que presentaba un cuadro de distrés respiratorio secundario a una neumonía⁴, aunque antes de esa fecha los médicos de la época lo usaban con fines muy diversos.

A principios del siglo XX el fisiólogo inglés J.S. Haldane⁵ fue el primero en demostrar los efectos de la hipoxemia (cefalea matutina, taquicardia y taquipnea)⁵, afirmando que pronto el uso del oxígeno se extendería por los hospitales para tratar los citados síntomas. Este hecho comenzó a ser realidad en años posteriores gracias, entre otros, a los trabajos publicados por el Dr. A. Barach, considerado el padre de la oxigenoterapia moderna. En 1922 este autor publicó un artículo en el que se racionalizaba el uso del oxígeno para el tratamiento de la neumonía (“oxigenoterapia aguda”)⁶. En años posteriores, con los conocimientos adquiridos en un laboratorio de fisiología pulmonar durante la Segunda Guerra

Correspondencia: Dr. D. Castillo.
Departamento de Neumología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Sant Antoni M.³ Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: dcastillo@santpau.es

Recibido: 11-4-2006; aceptado para su publicación: 16-5-2006.

Mundial, Barach desarrolló un sistema, a partir de las mascarillas de los pilotos de aviones, que permitía la administración de oxígeno de manera continua (“oxigenoterapia crónica”). Aún fue más ingenioso cuando, a mediados de los años cincuenta, diseñó un sistema de pequeñas bombonas alrededor de la cintura, con el objetivo de administrar el oxígeno también fuera del domicilio (“oxigenoterapia en deambulación”)⁷. En 1956 Cotes y Gilson⁸ publicaron un artículo en el que demostraban la mejoría clínica de los pacientes que utilizaban oxígeno durante el ejercicio.

La administración controlada de oxígeno se introdujo en los años sesenta, cuando Campbell⁹, aplicando el efecto Venturi, diseñó unas mascarillas de oxígeno que permitían regular la fracción inspiratoria de oxígeno (FiO₂) proporcionada. Su objetivo era obtener un mayor control del oxígeno administrado a los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), dado que algunos presentaban complicaciones secundarias a la administración de flujos altos. En esos mismos años, diversos grupos de investigadores, entre los que destacaba el liderado por el Dr. T. Petty, realizaron los primeros estudios sistemáticos con oxigenoterapia crónica. Describieron una mejoría en la tolerancia al ejercicio y una reducción tanto de la eritrocitosis como de la hipertensión pulmonar^{10,11}. En años posteriores la evidencia acumulada indicaba asimismo una disminución de la hospitalización y mortalidad de los pacientes tratados con oxígeno^{12,13}. De esta inquietud nacieron los estudios, ya clásicos, Nocturnal Oxygen Therapy Trial (NOTT)¹⁴ y el del British Medical Research Council (MRC)¹⁵. El primero, norteamericano, estudiaba a pacientes con EPOC y oxígeno continuo (una media de 17,4 h/día) frente a oxígeno nocturno (12 h/día). En cambio, el estudio del MRC analizaba a pacientes con EPOC que no recibían oxigenoterapia, frente a los que sí la recibían (una media de 15 h/día). Ambos estudios demostraron el aumento de la supervivencia en los pacientes con oxigenoterapia, supervivencia que era mayor cuantas más horas de oxígeno recibían. Estos estudios sentaron las bases de la oxigenoterapia crónica domiciliaria en pacientes con EPOC, indicaciones que, por extensión, se aplican a las otras enfermedades pulmonares crónicas, aunque su utilidad no se haya demostrado suficientemente¹⁶.

Fuentes de oxígeno

Las principales fuentes de oxígeno son el gas comprimido, el concentrador y el oxígeno líquido. Las características principales de cada uno se exponen en la tabla I.

La primera fuente de oxígeno que se utilizó fueron las bombonas de gas comprimido. Ampliamente extendidas, su principal inconveniente surge de su tamaño y peso, que suponen una importante limitación para el paciente, dado que dificultan su movilidad incluso dentro del domicilio; problema que puede solventarse parcialmente con el uso de bombonas portátiles. El concentrador aparece a principios de los años setenta. Su funcionamiento consiste en concentrar el oxígeno del aire ambiente separándolo del nitrógeno mediante unos filtros. Tiene la ventaja de ser un sistema autónomo (no es necesario rellenar una unidad base cada cierto tiempo, como en los anteriores), aunque su gran limitación estriba en que es preciso que esté conectado a la red eléctrica para funcionar, lo que impide los desplazamientos del paciente. El oxígeno líquido se introdujo para su uso doméstico en 1965. Union Carbide, trabajando con Petty, desarrolló un pequeño sistema portátil que tenía el peso y el tamaño adecuados a las necesidades de los pacientes¹⁷. Además, podía rellenarse desde una unidad de base. Aunque la autonomía de este sistema es limitada (dependiendo sobre todo del flujo prescrito), permite a los pacientes asegurar una correcta saturación de oxihemoglobina mientras realizan sus actividades cotidianas, dentro y fuera del domicilio.

El oxígeno líquido ha demostrado mejorar la calidad de vida de los pacientes que reciben oxigenoterapia crónica domiciliaria al permitir mayor movilidad y autonomía en las actividades cotidianas dentro y fuera del domicilio¹⁸. Un reciente metaanálisis de la biblioteca Cochrane concluye que el oxígeno ambulatorio mejora el rendimiento del ejercicio en las personas con EPOC moderada a grave¹⁹. Además, también se ha demostrado que los pacientes con EPOC sin hipoxemia diurna grave (presión arterial de oxígeno > 60 mmHg) que realizan un programa de rehabilitación pulmonar pueden aumentar la capacidad de entrenamiento si reciben oxígeno²⁰. A pesar de esta evidencia, y dado que el coste del oxígeno líquido es mayor que el de las otras fuentes estáticas de administración, los proveedores de equipos mé-

TABLA I
Características principales de las fuentes de oxígeno

	Bombona de gas comprimido	Bombona de gas portátil	Concentrador	Oxígeno líquido
Indicaciones	Paciente sin movilidad	Complemento de fuente fija para asegurar movilidad	Paciente con poca movilidad y bajos flujos	Pacientes con buena movilidad
Ventajas	Ausencia de ruido	Movilidad fuera del domicilio	No necesita red de distribución	Movilidad fuera del domicilio Autonomía aceptable Recargable desde nodriza
Inconvenientes	Red de distribución Fuente estática	Peso Red de distribución Autonomía escasa No recargable	Pérdida de eficacia con altos flujos Ruido Sin movilidad fuera del domicilio Red eléctrica	Red de distribución
Coste	Medio	Medio	Bajo	Alto

TABLA II
Características principales de los sistemas de ahorro

	Catéter transtraqueal	Cánula reservorio	Sistema a demanda
Mecanismo de ahorro	Disminuye el espacio muerto La vía aérea superior actúa como reservorio	Almacena oxígeno durante la espiración y lo administra al comienzo de la inspiración	Proporciona oxígeno sólo durante la inspiración, principalmente en su inicio
Indicaciones	Fuente portátil Hipoxemia refractaria	Fuente portátil Hipoxemia refractaria	Fuente portátil
Ventajas	Mejora los parámetros de función pulmonar	Fácil de usar	Adaptado a las botellas de oxígeno líquido
Desventajas	Invasivo Recambio periódico	Escasa comodidad	Disminución de eficacia a altas frecuencias respiratorias
Coste	Alto	Bajo	Medio

dicos prefieren el uso de los concentradores de oxígeno y, en menor medida, las bombonas de gas comprimido, para reducir los gastos, relegando así al oxígeno líquido a un papel secundario^{21,22}. Esta actitud es, además, abiertamente agradecida por la economía de los sistemas sanitarios nacionales.

Sistemas de ahorro de oxígeno

Con el objetivo de aumentar la autonomía de las fuentes de oxígeno portátiles mediante la disminución del gasto de oxígeno, a mediados de los años ochenta aparecieron los sistemas de ahorro. Los principales métodos disponibles actualmente son el catéter transtraqueal, las cánulas reservorio y los sistemas a demanda²³. Dado que se admite que las cánulas nasales convencionales son un sistema ineficiente, pues sólo un 15-20% del oxígeno administrado participa en el intercambio gaseoso²⁴, los sistemas de ahorro se concibieron para utilizar menos oxígeno, pero de una manera más eficiente. Así, se estima que pueden aumentar la autonomía de un pequeño cilindro hasta 3 veces más que con oxígeno continuo utilizando las gafas nasales convencionales²⁵. Esto permite optimizar la administración de oxígeno, además de conseguir una mayor competitividad económica de las fuentes portátiles. En la tabla II se resumen sus principales características.

Catéter transtraqueal

El catéter transtraqueal proporciona oxígeno directamente en la tráquea a través de un pequeño catéter de 1,6-2 mm de diámetro, que se introduce por vía percutánea, a la altura del segundo-tercer anillo traqueal. De esta manera se evita el espacio muerto creado por la cavidad orofaríngea y, además, la vía aérea superior actúa como reservorio, con lo que aumenta la FiO_2 y se consigue mantener saturaciones de oxihemoglobina similares a las del sistema convencional, pero con menores flujos de oxígeno. Se estima que el catéter transtraqueal puede producir un ahorro de oxígeno de un 50% en reposo y de un 30% en ejercicio, aproximadamente²⁶. Además, ha demostrado producir una disminución del trabajo

respiratorio y de la disnea que presenta el paciente, gracias a la reducción de la ventilación^{27,28}. También se ha demostrado una mejoría en la función hemodinámica²⁹. Todo ello con un impacto significativo en la calidad de vida relacionada con la salud del paciente.

El uso del catéter transtraqueal está indicado principalmente para ahorro de oxígeno en pacientes que utilizan fuentes portátiles para la deambulacion. Christopher et al³⁰ también demostraron su utilidad en pacientes con hipoxemia refractaria. A pesar de que estéticamente no representa un inconveniente, ya que puede ocultarse bajo la ropa, los pacientes suelen rechazar su prescripción, sobre todo por ser un método invasivo, que además comporta un entrenamiento y una educación en su cuidado, y porque es preciso recambiarlo cada 60-90 días en ámbito hospitalario. Las principales complicaciones del catéter³¹ son locales, en la zona de inserción (enfisema subcutáneo, celulitis, hemorragia, etc.). Su uso está contraindicado de manera absoluta en pacientes con estenosis subglótica, parálisis de cuerda vocal, coagulopatía grave, acidosis respiratoria o incapacidad para mantener los cuidados, y relativamente contraindicado en estados que dificulten la correcta cicatrización o en pacientes con hipersecreción bronquial³¹.

No obstante, aunque el catéter transtraqueal fue introducido en la práctica médica hace más de 20 años por el Dr. Heimlich³², su prescripción sigue siendo muy infrecuente en la actualidad. Este hecho se debe fundamentalmente a 2 factores. Por un lado, tiene poca aceptación por parte de los pacientes, tal como demuestra el estudio de Díaz-Lobato et al³³, en el que se utilizó el catéter transtraqueal para el tratamiento de la insuficiencia respiratoria y en el que sólo el 9% de los pacientes lo aceptaron para uso domiciliario. Por otro lado, los médicos tienen la sensación de que es un método que presenta muchas complicaciones, a pesar de que estudios recientes han demostrado que es un sistema de administración seguro³⁴.

En conclusión, numerosos grupos señalan que el catéter transtraqueal es el medio ideal para la administración de oxígeno continuo durante 24 h en pacientes con actividad conservada (en ausencia de contraindicaciones para su prescripción).



Fig. 1. Cánulas reservorio: Oxymizer (izda.) y Oxymizer Pendant (dcha.).

Cánulas reservorio

Las cánulas reservorio nacieron a mediados de los años ochenta con la intención de aumentar la eficacia de las cánulas nasales convencionales. Para ello, aumentan el volumen de oxígeno administrado al inicio de la inspiración, hecho que representará una mayor FiO_2 en la fracción de volumen corriente que realmente participa en el intercambio gaseoso. El reservorio dispone de una membrana que se desplaza durante la espiración, lo que permite el almacenamiento de unos 30-40 ml de oxígeno proveniente de la fuente (y que normalmente se desperdiciaría), el cual se administra como un bolo al comienzo de la inspiración. Se dispone de 2 modelos: Oxymizer, en el que el reservorio se coloca directamente en la nariz, y el Oxymizer Pendant, en el cual el reservorio se sitúa en el pecho y se conecta a la nariz por medio de 2 cánulas nasales de mayor grosor que las convencionales (fig. 1). Usando este sistema se puede mantener una saturación de oxígeno adecuada, con un menor flujo administrado³⁵, lo que produce el ahorro de oxígeno deseado. Su uso está indicado tanto para aumentar la autonomía de las fuentes portátiles como para optimizar el tratamiento de pacientes que utilicen fuentes fijas, dado que éstas, a veces, no pueden alcanzar el flujo necesario con los sistemas de administración convencionales. No obstante, las cánulas reservorio presentan el problema de que, a elevada frecuencia respiratoria, como ocurre en las enfermedades restrictivas, los pacientes utilizan más la boca para respirar, lo que disminuye su eficacia³⁶, por lo que hay que concienciar a los pacientes para que respiren siempre por la nariz. A pesar de ser más efectivas, en un estudio clásico de Clairbone et al³⁷ algunos pacientes rechazaron su uso argumentando una pérdida de comodidad respecto a las cánulas convencionales (molestias en la nariz y las orejas, por ser más pesadas y gruesas), así como por ser un método menos estético. Los estudios de Arlati et al³⁶, Soffer et al³⁸ o Collard et al³⁹ ya demostraron la eficacia de las cánulas reservorio para ahorrar oxígeno, manteniendo una adecuada saturación. Sin embargo, a pesar



Fig. 2. Sistemas a demanda: válvula integrada en una bombona de oxígeno líquido (izda.) y válvula independiente (dcha.).

de ser un método bastante similar al convencional y, por lo tanto, sin grandes complicaciones para los pacientes, su uso está poco introducido entre los pacientes de nuestro medio.

Sistemas a demanda

Los sistemas a demanda se desarrollaron a principios de los años ochenta. Quizá sea el sistema de conservación de oxígeno más extendido. Al igual que las cánulas reservorio, los sistemas a demanda se diseñaron con la intención de mejorar la eficacia de las cánulas nasales convencionales racionando el oxígeno durante las diversas fases del ciclo respiratorio. El flujo de oxígeno se controla mediante una válvula que se activa (y permite el paso a su través) cuando detecta la presión negativa que se genera durante la inspiración (fig. 2). Así se administra oxígeno sólo durante esta fase del ciclo respiratorio, suprimiendo el oxígeno desperdiciado durante la espiración. Además, con la intención de reducir el oxígeno acumulado en el espacio muerto y favorecer el intercambio gaseoso (al igual que ocurre con las cánulas reservorio), se perfeccionaron los sistemas mediante 2 tipos de estrategias: una que sólo proporciona un bolo de oxígeno predeterminado al inicio de la inspiración –aumentando en volumen según una gradación numérica–, y otra que utiliza también el bolo (de menor cantidad), seguido de un flujo continuo el resto de la inspiración, generalmente de menor cantidad que los empleados en los sistemas convencionales (y que también aumentan en volumen según una gradación numérica). Esto significa, en contra de lo que muchos médicos han considerado siempre, que con estos sistemas no se administra un flujo continuo, como hacen los sistemas convencionales, sino un volumen de oxígeno equivalente (estimado) al que participa en el intercambio gaseoso a dicho flujo. Gracias a esto, los sistemas a demanda consiguen ahorrar oxígeno manteniendo unos valores de saturación adecuados.

Su principal indicación es en pacientes que usan fuentes portátiles para la oxigenoterapia. Sus grandes

ventajas son que estéticamente no presenta problemas y que hoy día se dispone de modelos de botellas de oxígeno líquido que incorporan este sistema (fig. 2), lo que permite reducir su tamaño y peso sin variar la autonomía, con el consiguiente beneficio que eso supone para el paciente. Su principal inconveniente reside en que no son válidos si el paciente precisa un elevado flujo de oxígeno para corregir la hipoxemia. La sensibilidad de la válvula, la frecuencia respiratoria y la respiración bucal son 3 factores que también pueden aumentar la ineficacia del sistema. Diversos estudios han puesto de manifiesto que estos sistemas son eficaces tanto en reposo como durante el ejercicio o el sueño⁴⁰⁻⁴⁵. Asimismo, Cuvellier et al⁴⁶ demostraron que durante el sueño, en pacientes con EPOC moderada-grave, no había diferencias significativas en los parámetros ventilatorios ni neurofisiológicos cuando se administraba oxígeno con el sistema a demanda respecto a los sistemas convencionales. Los sistemas a demanda son eficaces, cómodos y fáciles de manejar; por lo tanto, resultan idóneos para los pacientes que reciben oxígeno en deambulación.

Prescripción de los sistemas de ahorro

La prescripción de un sistema de ahorro implica el reajuste de todos los parámetros establecidos. Dado que la prueba de 6 min de marcha se ha establecido como el mejor reflejo de la desaturación al esfuerzo⁴⁷, debería realizarse con el nuevo sistema de administración para ajustar los valores en deambulación. Asimismo, cuando los utilizemos para la oxigenoterapia crónica domiciliaria (ya sea con oxígeno líquido o para optimizar una fuente fija), debemos obtener los parámetros adecuados durante el día y la noche para corregir la desaturación.

Los sistemas a demanda presentan la singularidad de que, al ser de diferentes empresas proveedoras, no utilizan volúmenes de oxígeno similares. Johann et al⁴⁸ demostraron que la presión arterial de oxígeno alcanzada por 3 modelos diferentes variaba de manera significativa. Este hecho se confirma en un estudio reciente publicado por Bliss et al⁴⁹, quienes compararon los diversos modelos a demanda existentes en el mercado utilizando un modelo artificial que simulaba el aparato respiratorio. Los autores comprobaron que el oxígeno administrado variaba según los diferentes modelos, demostrando que no hay equivalencia entre ellos. Por lo tanto, cuando se cambia de sistema y de modelo es necesario adecuar el sistema a cada paciente, reajustando todos los parámetros de oxigenación tanto en reposo como en actividad o durante el sueño.

Una realidad olvidada

Los sistemas de ahorro de oxígeno constituyen una alternativa eficaz para la administración de oxígeno frente a los sistemas convencionales, principalmente en pacientes con movilidad conservada, dado que aumentan la autonomía de las fuentes portátiles. La otra indicación principal es la optimización de la oxigenoterapia en la hipoxemia refractaria. Debido a sus diferentes características, cada sistema presenta ventajas e inconvenientes,

que se deben valorar antes de elegir el más adecuado. Para su correcta prescripción se debe ajustar el flujo de oxígeno tanto en reposo como durante el ejercicio o el sueño mediante las pruebas pertinentes.

Sin embargo, la prescripción de los sistemas de ahorro es un hecho poco usual en nuestro país. Las causas de este "olvido" son varias y complejas, algunas culturales y otras de carácter práctico. En nuestro medio habitual todos los pacientes en general, y aquéllos con enfermedades respiratorias en particular, tienen una escasa movilidad. Con gran dificultad salen de su domicilio, y es excepcional ver a pacientes con enfermedades respiratorias crónicas que realicen normalmente sus actividades diarias con oxigenoterapia de deambulación⁵⁰. No es ésta la situación que se da en otros países. En EE.UU. los enfermos y discapacitados, por ejemplo, disponen de carritos con suplemento de oxígeno en los grandes supermercados, tienen un mayor grado de actividad pública, salen solos de su domicilio, viajan, etc. En nuestra realidad, actividades como desplazarse en avión presentan serias dificultades para los pacientes con oxigenoterapia⁵¹. El paciente con una enfermedad respiratoria crónica, en nuestro medio, tiene, pues, una franca tendencia a la inmovilidad y como consecuencia, los dispositivos que facilitan el manejo del oxígeno ambulatorio son tan demandados. Del mismo modo, también influye el hecho de que al principio estos sistemas de ahorro de oxígeno se percibiesen como ineficaces y complicados, lo que configuró la sensación general de inutilidad. Otro aspecto influyente es el económico. Las fuentes fijas, especialmente el concentrador, resultan más atractivas para los proveedores, dado que requieren menos apoyo asistencial; y para los sistemas sanitarios, por ser más económicas. Sin embargo, la realidad es que los sistemas de ahorro reducen los costes de las fuentes portátiles (oxígeno líquido, principalmente) y puesto que su uso repercute significativamente en la calidad de vida de determinados pacientes, su comercialización debería ser obligatoria en cada uno de los sistemas sanitarios de nuestro país.

Se trata, pues, de una realidad olvidada. Por un lado, tenemos a nuestra disposición una serie de equipos, más o menos fáciles de utilizar, que, aunque requieren un cierto aprendizaje, redundarían en una mejor calidad de vida del paciente y, además, en un ahorro económico nada despreciable. Por el contrario, los motivos expuestos de tendencia al sedentarismo de nuestra cultura y el poco esfuerzo de divulgación. El resultado: su uso es prácticamente inexistente. Hará falta un gran esfuerzo de educación, tanto de los propios médicos como de los pacientes, así como de las compañías suministradoras y de la Administración sanitaria, para modificar estas pautas de conducta. En nuestra opinión, este esfuerzo debería realizarse. Y lo más pronto posible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Foster M. Lectures of the history of physiology. London: Cambridge University Press; 1901.
2. Scheele CW. The discovery of oxygen. En: Chemical treatise on air and fire (part 2). Edinburgh: Alembic Club; 1902.

3. McKie D. Antoine Lavoisier: scientist, economist, social reformer. New York: Schumann; 1952.
4. Schultz SM, Hartmann PM. George E. Holtzapple (1862-1946) and oxygen therapy for lobar pneumonia: the first reported case (1887) and a review of the contemporary literature to 1899. *J Med Biogr.* 2005;13:201-6.
5. Haldane JS. Symptoms, causes and prevention of anoxemia (and value of oxygen in its treatment). *Br Med J.* 1919;65-71.
6. Barach AL. The therapeutic use of oxygen. *JAMA.* 1922;29:693-8.
7. Barach AL. Ambulatory oxygen therapy: oxygen inhalation at home and out-of-doors. *Chest.* 1959;35:229-41.
8. Cotes JE, Gilson JC. Effect of oxygen in exercise ability in chronic respiratory insufficiency: use of a portable apparatus. *Lancet.* 1956;1:822-6.
9. Campbell EJM. J. Burns Lecture: the management of acute respiratory failure in chronic bronchitis and emphysema. *Am Rev Resp Dis.* 1967;96:626-39.
10. Levine BE, Bigelow DB, Hamstra RD, Beckwitt HJ, Mitchell RS, Nett LM, et al. The role of long-term continuous oxygen administration in patients with chronic airway obstruction with hypoxemia. *Ann Intern Med.* 1967;66:639-50.
11. Abraham AS, Cole RB, Bishop JM. Reversal of pulmonary hypertension by prolonged oxygen administration to patients with chronic bronchitis. *Cir Res.* 1968;23:147-57.
12. Petty TL, Finigan MN. The clinical evaluation of prolonged ambulatory oxygen therapy in patients with chronic airway obstruction. *Am J Med.* 1968;45:242-52.
13. Neff TA, Petty TL. Long-term continuous oxygen therapy in chronic airway obstruction: mortality in relation to cor pulmonale, hypoxemia and hypercapnia. *Ann Intern Med.* 1970;72:621-6.
14. Nocturnal Oxygen Therapy Trial. Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxemic chronic obstructive lung disease (a clinical trial). *Ann Intern Med.* 1980;93:391-8.
15. Report of the Medical Research Council Working Party. Long term domiciliary oxygen therapy in chronic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema. *Lancet.* 1981;1:681-5.
16. Crockett AJ, Cranston JM, Antic N. Oxígeno domiciliario para la enfermedad pulmonar intersticial (Revisión Cochrane traducida). En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2005(4). Oxford: Update Software Ltd.
17. Petty TL. Historical highlights of long-term oxygen therapy. *Respir Care.* 2000;45:29-36.
18. Andersson A, Strom K, Brodin H, Alton M, Bowan G, Jakobsson P, et al. Domiciliary liquid oxygen versus concentrator treatment in chronic hypoxaemia: a cost-utility analysis. *Eur Respir J.* 1998;12:1284-9.
19. Bradley JM, O'Neill B. Oxígeno ambulatorio a corto plazo para la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Revisión Cochrane traducida). En: *La Biblioteca Cochrane Plus*, 2005(4). Oxford Update Software Ltd.
20. Emtner M, Porszasz J, Burns M, Somfay A, Casaburi R. Benefits of supplemental oxygen in exercise training in nonhypoxemic chronic obstructive pulmonary disease patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;168:1034-42.
21. McCoy RW. New technologies for lighter portable oxygen systems. *Respir Care.* 2002;47:879-81.
22. Hogan T, Carr M, Floren T, Schupp M. Long-term oxygen therapy: financial and future considerations. *Respir Manage.* 1988;18:21-4.
23. Hoffman LA. Novel strategies for delivering oxygen: reservoir cannula, device flow and transtracheal oxygen administration. *Respir Care.* 1994;39:363-77.
24. Tiep BL, Lewis MI. Oxygen conservation and oxygen-conserving devices in chronic lung disease. *Chest.* 1987;92:263-72.
25. Tiep B. Portable oxygen therapy with oxygen conserving devices and methodologies. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1995;50:51-7.
26. Díaz-Lobato S, Villasante C, Villamor J. Beneficios que aporta la oxigenoterapia por catéter transtraqueal. *Med Clin (Barc).* 1993;100:264-5.
27. Christopher KL, Spofford BT, Petrun MD, McCarty DC, Goodman JR, Petty TL. A program for transtracheal oxygen delivery assessment of safety and efficacy. *Ann Intern Med.* 1987;107:802.
28. Benditt J, Pollock M, Roc J, Celli B. Transtracheal delivery of gas decreases the oxygen cost of breathing. *Am Rev Respir Dis.* 1993;147:1207-10.
29. Domingo C, Klamburg J, Roig J, Coll R, Izquierdo J, Morera J, et al. Acute and long-term hemodynamic response to home oxygen therapy: nasal prongs versus oxygen saving devices. *J Appl Res.* 2004;4:149-63.
30. Christopher KL, Spofford BT, Brannin PK, Petty TL. Transtracheal oxygen therapy for refractory hypoxemia. *JAMA.* 1986;256:494.
31. Farrero E. Oxigenoterapia crónica domiciliaria. En: Güell R, De Lucas P, editores. *Tratado de rehabilitación respiratoria.* Barcelona: Ars Médica; 2005. p. 291-301.
32. Heimlich JH, Carr GC. Transtracheal catheter technique for pulmonary rehabilitation. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1985;94:502-4.
33. Díaz-Lobato S, García Tejero M, Racionero MA, García Río F, Villasante C, Villamor J, et al. Oxigenoterapia deambulatoria por catéter transtraqueal. *Arch Bronconeumol.* 1996;32:225-9.
34. Kamplmacher MJ, Deenstra M, Van Kesteren RG, Melissand CF, Douze JM, Lammers JW. Transtracheal oxygen therapy: an effective and safe alternative to nasal oxygen administration. *Eur Respir J.* 1997;10:828-33.
35. Tiep BL, Belman MJ, Mittman C, Phillips R, Otsap B. A new pendant storage oxygen-conserving nasal cannula. *Chest.* 1985;87:381-3.
36. Arlati S, Rolo J, Micallef E, Sacerdote C, Brambilla I. A reservoir nasal cannula improves protection given by oxygen during muscular exercise in COPD. *Chest.* 1988;93:1165-9.
37. Claiborne RA, Paynter DE, Dutt AK, Rowlands JW. Evaluation of the use of an oxygen conservation device in long-term oxygen therapy. *Am Rev Respir Dis.* 1987;136:1095-8.
38. Soffer M, Tashkin DP, Shapiro BJ, Littner M, Harvey E, Farr S. Conservation of oxygen supply using a reservoir nasal cannula in hypoxemic patients at rest and during exercise. *Chest.* 1985;88:663-8.
39. Collard P, Wautelet JP, Delwiche J, Prignot J, Dubois P. Improvement of oxygen delivery in severe hypoxaemia by a reservoir cannula. *Eur Respir J.* 1989;2:778-81.
40. Fuhrman C, Chouaid C, Herigault R, Housset B, Adnot S. Comparison of four demand oxygen delivery systems at rest and during exercise for chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med.* 2004;98:938-44.
41. Tiep BL, Barnett J, Schiffman G, Sánchez O, Carter R. Maintaining oxygenation via demand oxygen delivery during rest and exercise. *Respir Care.* 2002;47:887-92.
42. Garrod R, Bestall JC, Paul E, Wedzicha JA. Evaluation of pulsed dose oxygen delivery during exercise in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 1999;54:242-4.
43. Tiep BL, Carter R, Nicotra B, Berry J, Phillips RE, Otsap B. Demand oxygen delivery during exercise. *Chest.* 1987;91:15-20.
44. Bower JS, Brook CJ, Zimmer K, Davis D. Performance of a demand oxygen saver system during rest, exercise, and sleep in hypoxemic patients. *Chest.* 1988;94:77-80.
45. Braun SR, Spratt G, Scott GC, Eilersieck M. Comparison of six oxygen delivery systems for COPD patients in rest and exercise. *Chest.* 1992;102:694-8.
46. Cuvelier A, Muir JF, Czernichow P, Vavasseur E, Portier F, Benhamou D, et al. Nocturnal efficiency and tolerance of a demand oxygen delivery system in COPD patients with nocturnal hypoxemia. *Chest.* 1999;116:22-9.
47. Morante F, Güell R, Mayos M. Eficacia de la prueba de los 6 minutos de marcha en la valoración de la oxigenoterapia de deambulación. *Arch Bronconeumol.* 2005;41:596-600.
48. Johann U, Fichter J, Sybrecht GW. Efficacy of demand oxygen delivery systems in patients with chronic obstructive lung disease. *Pneumologie.* 2001;55:306-10.
49. Bliss P, McCoy RW, Adams AB. Characteristics of demand oxygen delivery systems: maximum output and setting recommendations. *Respir Care.* 2004;49:160-5.
50. Puente-Maestu L. Las pruebas de marcha en la prescripción de la oxigenoterapia portátil. *Arch Bronconeumol.* 2005;41:591-2.
51. Lara B, Miravittles M. Viajar con oxígeno. Reflexiones a propósito de la primera reunión internacional de pacientes con déficit de alfa-1-antitripsina. *Arch Bronconeumol.* 2004;40:144.