

Hipoxemia en población adulta mexicana según altitud sobre el nivel del mar, Ensanut 2024

Andrés Sánchez-Pájaro, PhD,⁽¹⁾ Sandra Guinto-Ramírez, MD,⁽²⁾
Laura Rosario Mendoza-Alvarado, M en C,⁽³⁾ Rogelio Pérez-Padilla, MD.⁽²⁾

Sánchez-Pájaro A, Guinto-Ramírez S, Mendoza-Alvarado LR, Pérez-Padilla R. Hipoxemia en población adulta mexicana según altitud sobre el nivel del mar, Ensanut 2024. *Salud Publica Mex.* 2025;67:805-813. <https://doi.org/10.21149/17199>

Sánchez-Pájaro A, Guinto-Ramírez S, Mendoza-Alvarado LR, Pérez-Padilla R. Hypoxemia in Mexican adults as a function of altitude of residence above sea level, Ensanut 2024. *Salud Publica Mex.* 2025;67:805-813. <https://doi.org/10.21149/17199>

Resumen

Objetivo. Estimar la prevalencia de hipoxemia crónica con potencial requerimiento de oxígeno ($SpO_2 \leq 88\%$) y la del uso y prescripción de oxígeno suplementario y sus predictores, en adultos residentes de comunidades a $>1\ 000$ m de altitud sobre nivel del mar en México. **Material y métodos.** El estudio fue parte de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2024, basada en un muestreo probabilístico, polietápico y estratificado de hogares, con representatividad nacional y de regiones urbana y rural. Se incluyeron preguntas sobre el uso de oxígeno en casa, así como mediciones en reposo, sentados y respirando aire ambiente de la SpO_2 y del pulso reportando el valor promedio. **Resultados.** La prevalencia de hipoxemia fue de 1.1%, y aumentó con la edad, la obesidad y la altitud sobre el nivel del mar, que contrasta con 3.4% de la población que reportó una prescripción de oxígeno efectiva en sólo 19%. Los participantes con oxígeno en casa lo usaban en promedio 7.7 horas diarias y no se demostró hipoxemia en reposo en 74%. **Conclusiones.** Uno por ciento de adultos en México tiene hipoxemia. Se prescribe oxígeno suplementario sin hipoxemia o sin un seguimiento que verifique que es persistente, y ya prescrito se utiliza sólo

Abstract

Objective. To estimate the prevalence of chronic hypoxemia with requirements of domiciliary oxygen ($SpO_2 \leq 88\%$), the prescription and use of domiciliary oxygen, as well as its predictors, in adults living in communities $>1\ 000$ m above sea level in Mexico. **Materials and methods.** The study was part of the *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2024*, a household-based, multistage, stratified, probability sampling survey with representativeness for the country and for urban and rural areas. Questions about home oxygen use were included, as well as the average of six measurements of SpO_2 and pulse rate done at rest, seated, and breathing room air. **Results.** The prevalence of hypoxemia was 1.1% and increased with age, obesity, and altitude above sea level. This contrasts with the 3.4% of the population who reported an oxygen prescription, although only 19% had actually filled it. Of those receiving oxygen at home, 74% had no evidence of resting hypoxemia and used it for an average of 7.7 hours per day. **Conclusions.** One percent of adult Mexicans have hypoxemia at rest. Supplemental oxygen is prescribed without verification of hypoxemia or follow-up to confirm its persistence, and once prescribed, it is used by only one-fifth of

(1) Centro de Investigación en Salud Poblacional, Instituto Nacional de Salud Pública. Ciudad de México, México.

(2) Departamento de Investigación de Tabaquismo y EPOC, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México, México.

(3) Centro de Investigación en Evaluación y Encuestas, Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.

Fecha de recibido: 20 de junio de 2025 • **Fecha de aceptado:** 14 de octubre de 2025 • **Publicado en línea:** 18 de noviembre de 2025

Autor de correspondencia: Dr. Rogelio Pérez Padilla. Departamento de Investigación en Tabaquismo y EPOC, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Calzada de Tlalpan 4502, col. Sección XVI. 14080 Tlalpan, Ciudad de México, México
Correo electrónico: perezpad@gmail.com

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

por la quinta parte y por un tiempo insuficiente. El uso de oxígeno domiciliario en México no se apega a lineamientos internacionales.

Palabras clave: hipoxemia; oxigenoterapia crónica domiciliaria a largo plazo; obesidad; envejecimiento; altitud; encuestas, México

patients for an insufficient amount of time. The use of home oxygen in Mexico does not adhere to international guidelines.

Keywords: long term oxygen therapy; hypoxemia; altitude; aging; obesity; surveys Mexico

La hipoxemia es una condición grave caracterizada por una disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre arterial (PaO_2) y de la saturación de la hemoglobina con oxígeno en la sangre arterial (SaO_2). Existen muchas enfermedades respiratorias y no respiratorias que cursan con hipoxemia, la cual es un predictor importante de mortalidad y desenlaces precarios.¹ Los pacientes con hipoxemia crónica presentan complicaciones graves como hipertensión pulmonar, *cor pulmonale*, incapacidad, hospitalizaciones más frecuentes y muerte prematura, complicaciones prevenibles en buena medida mediante el uso de oxígeno suplementario.²

Desde el punto de vista epidemiológico, la PaO_2 disminuye con la enfermedad respiratoria, con el envejecimiento y con la obesidad, y de manera relevante se reduce a mayor altitud sobre el nivel del mar.²⁻⁴ A mayor altitud se reduce la presión barométrica y, como consecuencia, la PaO_2 y la SaO_2 . Este tipo de hipoxemia empeora conforme la altitud incrementa y puede ser clínicamente significativa en altitudes moderadas, especialmente durante el sueño y el ejercicio.⁵ En México, con abundantes poblaciones en altitud (en 2003, 50% de la población residía a más de 1 400 m sobre el nivel del mar [msnm]),⁶ con obesidad creciente y envejeciendo, aun sin tomar en cuenta la enfermedad respiratoria, es esperable que la frecuencia de hipoxemia crezca con el tiempo.

Se define operacionalmente como hipoxemia crónica que se beneficia de oxígeno suplementario a los valores de $\text{PaO}_2 \leq 55 \text{ mmHg}$ (equivalente a una $\text{SaO}_2 \leq 88\%$) o bien una $\text{PaO}_2 \leq 60 \text{ mmHg}$ (una $\text{SaO}_2 < 90\%$) en presencia de policitemia, hipertensión pulmonar o cor pulmonale.^{7,8} Estos criterios se generaron en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) que vivían cerca o a nivel del mar;^{7,9} en estos grupos, el uso de oxígeno disminuyó la mortalidad y las complicaciones, por lo que se han extrapolado a otras condiciones y edades.^{7,9}

El estándar de oro para la medición de la PaO_2 y de la SaO_2 es a través de la gasometría arterial. La oximetría de pulso (SpO_2) es una alternativa rápida y no invasiva. Su medición se realiza en un dedo de la mano, tomando en cuenta el componente pulsátil de la señal,¹⁰ la cual, cuando se compara con transmitancia basal debida a la

piel, tejidos blandos y sangre venosa, permite delimitar el componente arterial o SpO_2 .^{3,10}

En 2006, 6% de los adultos mayores de 40 años que habitaban en la zona metropolitana de la Ciudad de México tuvieron una $\text{SpO}_2 \leq 88\%$. Se observó que la altitud era el principal determinante de la baja saturación de oxígeno² y que sólo 8% de estos pacientes hipoxémicos recibían oxígeno en casa. La mitad de los que recibían oxígeno en casa no cumplían con el criterio oximétrico de hipoxemia en reposo.^{2,11} Considerando que el uso de oxígeno suplementario domiciliario es un insumo caro y limitado, es importante tener estimaciones sobre el número de personas que podrían requerirlo en un momento dado, así como evaluar si los usuarios de oxígeno cumplen criterios de hipoxemia.

En México no existen datos nacionales representativos que cuantifiquen de manera precisa la prevalencia de hipoxemia en adultos que residen en regiones elevadas. Estimar esta prevalencia es importante porque la mitad de la población reside arriba de 1 500 m sobre el nivel del mar.⁶ La falta de evidencia limita la capacidad de preparación y respuesta del sistema de salud y el diseño de políticas públicas efectivas que mitiguen este problema. El objetivo de este estudio fue estimar la prevalencia nacional de hipoxemia en reposo, en población mexicana adulta residente a >1 000 msnm, así como identificar los predictores de hipoxemia y de prescripción de oxígeno.

Material y métodos

Se utilizó la Ensanut Continua 2024, encuesta basada en hogares con muestreo probabilístico, polietápico y estratificado, con representatividad a nivel nacional y localización urbana y rural, realizada entre agosto y diciembre de 2024.¹² Este año se diseñó y se incluyó un módulo de "uso de oxígeno en casa" con nueve preguntas para responder al objetivo y medir variables relacionadas. Este módulo se aplicó a todas las personas de 20 años o más habitantes de una localidad a más de 1 000 msnm. El protocolo que originó este trabajo fue revisado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Instituto Nacional de Salud Pública, con el código CI: 1922.

Variables

Hipoxemia

Se definió hipoxemia como una $SpO_2\% \leq 88\%$,^{2,8} realizada en reposo en sedestación, durante al menos 10 minutos respirando aire ambiente. El sensor del oxímetro (Onyx Vantage modelo 9590; Nonin Medical Inc., Plymouth, MN, USA) de desempeño excelente,¹³ con aprobación para uso clínico por la Federal Drug Administration de Estados Unidos, es una versión actualizada del modelo 9 500 evaluado previamente en la Ciudad de México.¹⁰ El oxímetro se colocó en el dedo índice de la mano derecha, con el brazo descansando en las piernas. Sólo se cambiaba de dedo cuando no se lograba una lectura adecuada de forma inmediata o existía alguna lesión que impidiera el uso de dicho dedo. Tras registrar la primera lectura, se esperó de 10 a 15 segundos antes de comenzar con el registro. La $SpO_2\%$ y la frecuencia del pulso se registraron cada 10 segundos, obteniendo un total de seis mediciones consecutivas; los valores reportados corresponden al promedio de estas mediciones.^{10,14} En los casos en que la persona utilizaba oxígeno suplementario en su domicilio, las mediciones se realizaron después de un periodo mínimo de 15 minutos tras haber suspendido el oxígeno.

Covariables

Se construyó una variable dicotómica (sí, no) a través de la pregunta "En los últimos 12 meses, ¿le han recetado el uso de oxígeno en casa a través de un tanque o concentrador de oxígeno?". Se incluyeron seis covariables relacionadas con el uso de oxígeno: 1) frecuencia cardíaca (continua, latidos/min), definida como el promedio de las seis mediciones por oxímetro de pulso; 2) uso de oxígeno en casa (sí, no), construida con la pregunta "En los últimos 12 meses ¿usted utilizó o usa oxígeno en casa a través de un tanque o concentrador de oxígeno?"; 3) tipo de aparato de oxígeno (tanque de oxígeno, concentrador de oxígeno, ambos), construida con la pregunta "¿Qué tipo de aparato utilizó o usa actualmente?"; 4) tiempo promedio de uso (continuo, horas), construido de la pregunta "En promedio, ¿cuántas horas al día utilizó o usa el oxígeno?"; 5) gasto por uso de oxígeno (MXN), construido de la suma de compra y/o renta de tanque y/o concentrador de oxígeno: "Aproximadamente, por el uso del oxígeno en casa ¿cuánto gastó por la compra/renta del tanque/concentrador de oxígeno?"; y 6) altitud (msnm), registrado como la altura sobre el nivel del mar de la localidad tomado de estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México.

Se incluyeron además otras covariables de interés: 1) sexo (hombre, mujer); 2) condición de bienestar (bajo, medio, alto), construida como indicador de estado socioeconómico a partir de la medición de bienes materiales en el hogar; 3) edad (20 a 39, 40 a 59 y 60 o más); 4) estrato (rural, urbano), rural definido como localidades con población con menos de 2 500 habitantes; 5) índice de masa corporal (bajo o normal, sobrepeso, obesidad), definiendo bajo o normal como $<25 \text{ Kg/m}^2$, sobrepeso como ≥ 25 y $<30 \text{ Kg/m}^2$, y obesidad como $\geq 30 \text{ Kg/m}^2$; 6) tabaquismo (si fuma en la actualidad); si refirió alguna comorbilidad diagnosticada por el médico incluyendo 7) enfermedad cardíaca (infarto miocárdico o angina de pecho o insuficiencia cardíaca congestiva), 8) hipertensión arterial diagnosticada y 9) diabetes mellitus diagnosticada.

Análisis estadístico

Se estimó la prevalencia de cada variable con intervalos de confianza al 95% tomando en cuenta el diseño muestral complejo de la encuesta con el módulo SVY de Stata (College Station, TX: StataCorp LLC). Se evaluó la precisión de las estimaciones calculando el coeficiente de variación (CV):

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

En la cual σ es el error estándar y μ es la estimación. Se utilizaron los umbrales recomendados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, donde precisión alta es $CV < 15\%$ y precisión moderada $CV \geq 15\%$ y $< 30\%$. Posteriormente, se construyeron dos modelos Poisson con varianza robusta para obtener razones de prevalencia e identificar factores asociados con dos desenlaces de interés: hipoxemia y oxígeno recetado.

La selección de covariables de cada modelo se definió con base en la bibliografía del tema,^{1-3,11,15-22} utilizando un abordaje estadístico²³ para modelo predictivo, con eliminación hacia atrás con un punto de corte $p > 0.05$ y criterio de información de Akaike mínimo como regla de detenimiento. El proceso de selección se detalla en el anexo.²⁴

Para analizar los determinantes de la SpO_2 como variable continua, se realizaron modelos de regresión lineal múltiple en función de la altitud, edad e índice de masa corporal tanto en unidades originales como con términos cuadráticos, probando además la variable de si fuma en la actualidad, la presencia de comorbilidades reportadas y una gráfica que incluye las ecuaciones de regresión con la altitud estratificada en $< 1 500 \text{ m}$, $1 500-2 000 \text{ m}$ y más de $2 000 \text{ m}$ sobre el nivel del mar; se seleccionó el mejor modelo tomando

en cuenta la significancia estadística de los coeficientes, la r^2 y el criterio de información de Akaike más bajo. También se reportó el modelo lineal más simple con los tres predictores sin términos cuadráticos por facilidad para su estimación.

Resultados

El cuadro I muestra las prevalencias de hipoxemia observadas. En localidades mexicanas situadas a más de 1 000 msnm, la prevalencia de hipoxemia en reposo en adultos de 20 años o más fue de 1.1% (IC95%: 0.8,1.5), lo que representa a 565 000 personas (IC95%: 398 000,802 000). La comunidad seleccionada con menor altitud se localizó a 1 020 msnm y la de mayor altitud a 2 753 msnm.

La frecuencia cardiaca promedio fue de 76.2 latidos por minuto (IC95%: 75.5,76.9). El 3.4% (IC95%: 2.6,4.6) de la población reportó haber recibido una receta médica o recomendación para usar oxígeno, equivalente a 1.7 millones de personas (IC95%: 1.3,2.4 millones). Entre quienes contaban con una receta o recomendación, 19.9% (IC95%: 12.5,30.1) usaba oxígeno en casa, lo que corresponde a 355 000 personas (IC95%: 223 000, 538 000). El tipo de aparato para proveer el oxígeno más reportado fue el concentrador de oxígeno, utilizado por 57.2% (IC95%: 33.7,77.9) de quienes usaban oxígeno domiciliario. El tiempo promedio de uso diario reportado fue de 7.7 horas (IC95%: 5.3,10.2). El gasto mensual por el uso de oxígeno no se presenta debido a que la estimación se encuentra por debajo del umbral de confiabilidad.

El cuadro II muestra los factores asociados con la prescripción de oxígeno. Las personas de 60 años o más presentaron una razón de prevalencia de 1.65 (IC95%: 0.99,2.73; $p=0.054$) en comparación con el grupo de 20 a 39 años. Quienes residían en localidades urbanas mostraron una razón de prevalencia de 2.07 (IC95%: 1.25,3.45; $p=0.005$) en comparación con quienes vivían en localidades rurales. Quienes reportaron enfermedad cardiaca diagnosticada presentaron una razón de prevalencia de 0.01 (IC95%: 0.001,0.04; $p<0.001$). No se observaron asociaciones significativas de prescripción de oxígeno suplementario con frecuencia cardiaca, altitud, condición de bienestar, índice de masa corporal, tabaquismo, diabetes o hipertensión arterial. En un modelo de regresión logística se asoció la prescripción de oxígeno al reporte de hipertensión arterial (RM 1.8; IC95%: 1.3,2.5), insuficiencia cardiaca (RM 2.85; IC95%: 1.4,5.7), a la presencia de hipoxemia por SpO_2 (RM 3.6; IC95%: 1.8,7.1) y a la residencia en área metropolitana (RM 1.4; IC95%: 1.05,1.96).

El cuadro III muestra los factores asociados con la hipoxemia. Las personas de 40 a 59 años presentaron una

Cuadro I
PREVALENCIA DE OXÍGENO RECETADO, USO DE OXÍGENO EN CASA, HORAS PROMEDIO DE USO, FRECUENCIA CARDIACA, GASTO POR USO DE OXÍGENO E HIPOXEMIA, EN ADULTOS DE 20 AÑOS O MÁS QUE HABITAN EN LOCALIDADES >1 000 MSNM. MÉXICO, ENSANUT CONTINUA 2024

Indicador (medida)	n muestral	N ponderada	Estimación (IC95%)
Hipoxemia (%)			
No	5 576	51 372 397	98.9 (98.5,99.2)
Sí	90	565 696	1.1 (0.8,1.5)*
Oxígeno recetado (%)			
No	5 498	47 791 554	96.6 (95.4,97.4)
Sí	168	1 706 033	3.4 (2.6,4.6)
Uso de oxígeno en casa (%)			
No	136	1 434 740	80.1 (69.9,87.5)
Sí	32	355 410	19.9 (12.5,30.1)*
Tipo de aparato de oxígeno (%)			
Tanque	10	72 647	Debajo de umbral
Concentrador	16	203 361	57.2 (33.7,77.9)*
Ambos	6	79 402	Debajo de umbral
Tiempo promedio de uso (horas)			
	32	355 410	7.7 (5.3,10.2)
Gasto por uso de oxígeno (MXN)			
	24	280 707	Debajo de umbral
Altitud (msnm)			
<1 500 msnm	1 304	8 949 948	1 907.2 (1 871,1 943.3)
1 500-2 000 msnm	2 470	17 854 140	1 252.4 (1 223.9,1 280.8)
>2 000 msnm	1 872	25 134 004	1 753.9 (1 738.4,1 769.4)
Sexo (%)			
Hombres	2 223	24 066 626	46.3 (44.4,48.2)
Mujeres	3 443	27 871 467	53.7 (51.8,55.6)
Condición de bienestar (%)			
Bajo	1 840	13 808 812	26.6 (23.6,29.8)
Medio	1 861	17 275 703	33.3 (30.3,36.3)
Alto	1 965	20 853 579	40.2 (36.4,44)

(continúa...)

(continuación)
Edad (años) (%)

20-39	2 142	24 078 379	46.4 (44.1,48.6)
40-59	2 127	17 265 579	33.2 (31.7,34.8)
60 o más	1 397	10 594 135	20.4 (18.3,22.7)
Estrato (%)			
Rural	1 553	9 240 500	17.8 (16.5,19.2)
Urbano	4 113	42 697 593	82.2 (80.8,83.5)
Índice de masa corporal (%)			
Bajo o normal	987	9 897 948	24.9 (22.5,27.6)
Sobrepeso	1 671	15 536 405	39.2 (35.9,42.5)
Obesidad	1 664	14 242 033	35.9 (33,38.9)
Tabaquismo (%)			
No	4 701	31 394 513	79.1 (77.4,80.7)
Sí	965	8 281 873	20.9 (19.3,22.6)
Diabetes diagnosticada (%)			
No	4 938	35 425 699	89.3 (87.7,90.7)
Sí	728	4 250 687	10.7 (9.3,12.3)
Hipertensión arterial diagnosticada (%)			
No	4 527	32 609 685	82.2 (80.8,83.5)
Sí	1 139	7 066 701	17.8 (16.5,19.2)
Enfermedad cardíaca diagnosticada (%)			
No	5 401	37 763 294	95.2 (94.2,96)
Sí	265	1 913 092	4.8 (4.0,5.8)

* Hipoxemia: media de saturación de oxígeno <88%, de seis mediciones con oxímetro de pulso. Frecuencia cardíaca: media de latidos por minuto, de seis mediciones con oxímetro de pulso.
msnm: metros sobre el nivel del mar; MXN: pesos mexicanos; Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

razón de prevalencia de 7.99 (IC95%: 1.86,34.27; $p=0.005$) en comparación con el grupo de 20 a 39 años, mientras que en el grupo de 60 años o más la razón de prevalencia fue de 29.34 (IC95%: 6.94,123.95; $p<0.001$). Por cada 100 metros adicionales de altitud, la razón de prevalencia de hipoxemia fue de 1.22 (IC95%: 1.13,1.32; $p<0.001$). También se observó una asociación con la obesidad,

Cuadro II
FACTORES PREDICTORES DE OXÍGENO
PRESCRITO, EN ADULTOS DE 20 AÑOS O MÁS QUE
HABITAN EN LOCALIDADES >1 000 MSNM.
MÉXICO, ENSANUT CONTINUA 2024

Variable	Razón de prevalencia (IC95%)	p
Frecuencia cardíaca	1.00 (0.99,1.02)	0.754
Altitud	1.02 (0.98,1.07)	0.364
Condición de bienestar		
Bajo	Referencia	
Medio	0.80 (0.51,1.25)	0.33
Alto	0.71 (0.45,1.13)	0.145
Edad (años)		
20-39	Referencia	
40-59	0.96 (0.60,1.54)	0.88
60 o más	1.65 (0.99,2.73)	0.054
Estrato		
Rural	Referencia	
Urbano	2.07 (1.25,3.45)	0.005
Índice de masa corporal		
Bajo o normal	Referencia	
Sobrepeso	0.81 (0.50,1.33)	0.409
Obesidad	1.25 (0.79,1.97)	0.345
Tabaquismo		
No	Referencia	
Sí	1.29 (0.82,2.03)	0.273
Diabetes diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	1.08 (0.67,1.76)	0.748
Hipertensión arterial diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	1.37 (0.90,2.10)	0.142
Enfermedad cardíaca diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	0.01 (0.00,0.04)	<.001

Frecuencia cardíaca: media de latidos por minuto, de seis mediciones con oxímetro de pulso.
msnm: metros sobre el nivel del mar; Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

con una razón de prevalencia de 2.78 (IC95%: 1.35,5.74; $p=0.006$) en comparación con personas con bajo peso o peso normal. Asimismo, las personas en condición de bienestar alto mostraron una razón de prevalencia de 0.50 (IC95%: 0.28,0.89; $p=0.019$) en comparación con quienes estaban en condición de bienestar bajo. No se observaron asociaciones significativas de la hipoxemia

Cuadro III
ASOCIACIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS CON HIPOXEMIA*, EN ADULTOS DE 20 AÑOS O MÁS QUE HABITAN EN LOCALIDADES >1 000 MSNM. MÉXICO, ENSANUT CONTINUA 2024

Variable	Razón de prevalencia (IC95%)	p
Frecuencia cardiaca	1.01 (0.99,1.03)	0.362
Altitud	1.22 (1.13,1.32)	<.001
Sexo		
Hombres	Referencia	
Mujeres	1.65 (0.92,2.94)	0.093
Condición de bienestar		
Bajo	Referencia	
Medio	0.57 (0.32,1.02)	0.058
Alto	0.50 (0.28,0.89)	0.019
Edad (años)		
20-39	Referencia	
40-59	7.99 (1.86,34.27)	0.005
60 o más	29.34 (6.94,123.95)	<.001
Índice de masa corporal		
Bajo o normal	Referencia	
Sobrepeso	1.26 (0.55,2.86)	0.589
Obesidad	2.78 (1.35,5.74)	0.006
Tabaquismo		
No	Referencia	
Sí	1.82 (0.92,3.61)	0.084
Diabetes diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	0.69 (0.36,1.32)	0.264
Hipertensión arterial diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	1.46 (0.87,2.44)	0.156
Enfermedad cardiaca diagnosticada		
No	Referencia	
Sí	1.56 (0.71,3.40)	0.265

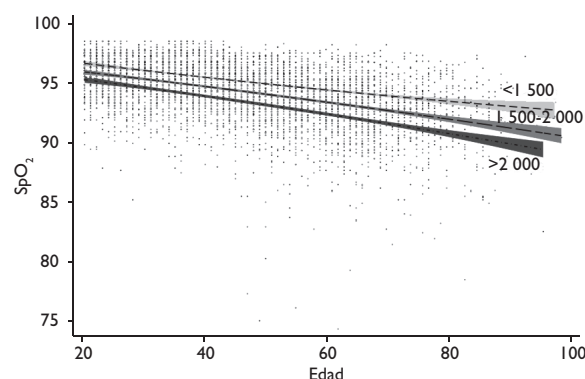
* Hipoxemia: media de saturación de oxígeno $\leq 88\%$, de seis mediciones con oxímetro de pulso; Frecuencia cardiaca: media de latidos por minuto, de seis mediciones con oxímetro de pulso.
 msnm: metros sobre el nivel del mar; Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

con frecuencia cardiaca, sexo, condición de bienestar medio, sobrepeso, tabaquismo, diabetes, hipertensión arterial ni enfermedad cardiaca diagnosticada.

En la figura 1 se observa una disminución progresiva de la saturación de oxígeno (SpO_2) con el aumento de la edad y con la altitud de residencia, y en la figura 2 la disminución en relación con el IMC. La mejor predicción de SpO_2 en un modelo de regresión multivariable fue $SpO_2 = 100.15 - 0.257 * edad - 0.044 * edad^2 - 0.148 * IMC^2 - 0.55 * altitud^2 - 0.39 * fuma$ con una r^2 ajustada de 0.36, un criterio de información de Akaike (AIC) de 17 960 y un error estándar de la media (*root mean square error*, RMSE) de 1.97 (cuadro IV). La mejora sobre una regresión múltiple lineal fue pequeña: $SpO_2 = 103.8 - 0.69 * edad - 0.86 * IMC - 1.90 * altitud$, con una r^2 ajustada de 0.35, un AIC de 18001 y un error estándar de la media de 1.99%. En ambas ecuaciones la edad es por década, el IMC por cada 10 Kg/m² y la altitud en Km sobre el nivel del mar.

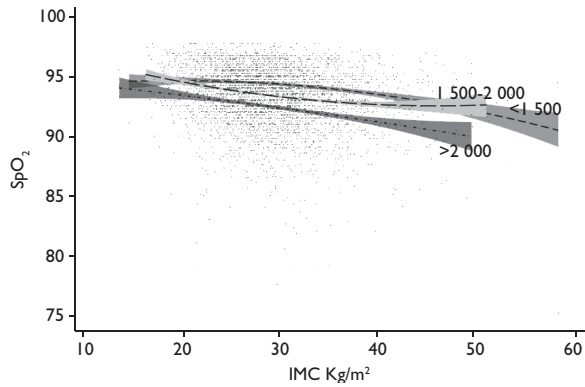
Discusión

El objetivo fue estimar la prevalencia nacional de hipoxemia en reposo en población adulta residente en localidades mexicanas situadas a más de 1 000 msnm, así como identificar predictores de hipoxemia y de la prescripción de oxígeno. Se observó una prevalencia aproximada de hipoxemia de 1%, lo que corresponde a un poco más de medio millón de personas que, de



Nota: Saturación arterial de oxígeno medido por oximetría de pulso (SpO_2) y trazos de regresión por categorías de participantes por metros sobre el nivel del mar (msnm) de su comunidad. Gráficos de barras de regresión cuadrática con intervalos de confianza construidas en Stata (qfitci). Las líneas sombreadas representan la media de la población para $>2 000$ msnm, 1 500-2 000 msnm y $<1 500$ msnm.
 Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DE LA SpO_2 POR ALTITUD Y EDAD DEL SELECCIONADO. MÉXICO, ENSANUT CONTINUA, 2024



Nota: Saturación arterial de oxígeno medido por oximetría de pulso (SpO_2) y trazos de regresión estratificados por categorías de altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm) de su comunidad. Gráficos de barras de regresión cuadrática con intervalos de confianza construidas en Stata (qfitci). Las líneas sombreadas representan la media de la población para $>2\ 000$ msnm, $1\ 500-2\ 000$ msnm y $<1\ 500$ msnm. IMC: índice de masa corporal; Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DE LA SpO_2 POR ALTI-TUD Y EDAD DEL SELECCIONADO. MÉXICO, ENSANUT CONTINUA, 2024

acuerdo con consensos internacionales, se beneficiarían del uso de oxígeno suplementario. Esta cifra indica un punto de partida, más probablemente un máximo, para la planeación de la disponibilidad de oxígeno suplementario en el sistema de salud del país. La prevalencia de hipoxemia aumentó con la altura sobre el nivel del mar, edad, particularmente en personas mayores de 60 años, con tabaquismo y obesidad, en comparación con personas con peso normal y con enfermedad cardíaca diagnosticada.

La estimación de la prevalencia de hipoxemia en población abierta está escasamente reportada en otros países. Un metaanálisis realizado en países de ingreso medio-bajo que incluyó más de 600 000 pacientes de todas las edades reportó una prevalencia en adultos ≥ 18 años de 10.8% (rango 4.9-18.7), aunque con un punto de corte más alto ($<90\%$ de SpO_2).^{2,11} Sin embargo, estas estimaciones son en personas con alguna enfermedad pulmonar y no una muestra representativa de la población abierta. Entre los factores asociados con la hipoxemia en la población mexicana destaca la edad avanzada, relacionada con deterioro en la mecánica ventilatoria y en el intercambio gaseoso pulmonar,^{4,17} así como obesidad, relacionada con

Cuadro IV
MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PREDICTIVO DE LA SATURACIÓN ARTERIAL DE OXÍGENO MEDIDA POR OXIMETRÍA DE PULSO (SpO_2). MÉXICO, ENSANUT CONTINUA 2024

Variable	Modelo completo*	P	Mejor modelo	P	Modelo lineal	P
Edad (años/10)	-0.253	0.02	-0.257	0.01	-0.692	<0.001
Edad ²	-0.044	<0.001	-0.044	<0.001		
IMC/10 (Kg/m ²)	+0.09	0.81			-0.879	<0.001
IMC ²	-0.134	0.03	-0.148	<0.001		
Altitud (Km)	+0.643	0.28			-1.90	<0.001
Altitud ²	-0.728	<0.001	-0.548	<0.001		
Fuma	-0.38	<0.001	-0.388	<0.001	-0.388	<0.001
Intercepto	99.735	<0.001	100.15	<0.001	103.91	<0.001
r ² ajustado	0.361		0.361		0.355	
RMSE	1.973		1.972		1.982	

* El modelo completo incluye términos naturales y cuadráticos de edad, índice de masa corporal (IMC) y altitud, y el lineal sólo los naturales. El mejor modelo tuvo el criterio de información de Akaike (AIC) más bajo (17 961 vs. 18 002 del modelo lineal simple, y 17 963 del modelo completo) con una r² similar y con menos términos. Los modelos incluyen 4 274 participantes que contaban con reporte de IMC, tabaquismo y comorbilidades. Los coeficientes de altitud y edad no se modificaron significativamente en modelos sin IMC y tabaquismo en toda la población.

Edad: en décadas; RMSE: *root mean square error* o raíz del error cuadrático medio; Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

anormalidades del funcionamiento bronquial y con interferencia de la masa torácica y abdominal, lo que genera zonas mal ventiladas y asocia con mayor frecuencia de apnea obstructiva del sueño y de trastornos del control respiratorio con hipoventilación. Finalmente, se observó una asociación con tabaquismo en los modelos lineales, el cual sigue siendo un problema de salud pública en México.^{17,25-27}

Por otra parte, de los participantes que reportaron prescripción de oxigenoterapia durante la evaluación (3.4%), 92% no presentó hipoxemia en reposo. Esto sugiere una sobreprescripción y desapego a los criterios para la prescripción de oxígeno domiciliario descritos desde 1981 y que siguen utilizándose en la actualidad.²⁸ Es posible que una parte importante de la sobreprescripción esté ocurriendo en zonas donde únicamente se tiene acceso a la atención de primer o segundo nivel, que suele carecer de confirmación por gasometría arterial, congruente con lo reportado en otros países, incluso desarrollados. En un estudio realizado en Inglaterra que incluyó 410 000 pacientes, se identificó que menos de la mitad del grupo contaba con mediciones clínicas para la prescripción y, en el caso específico de los pacientes con EPOC que contaban con gasometría, 42% tenía valores normales.²⁹ Una prescripción inadecuada puede llevar a no sólo un uso ineficiente de recursos, sino también a mayor riesgo de los pacientes y sus cuidadores. En el presente estudio, de manera adecuada, la presencia de hipoxemia por oximetría se asoció con prescripción de oxígeno. Sin embargo, también se asoció con la presencia de comorbilidades como hipertensión arterial y con la insuficiencia cardíaca que, en ausencia de hipoxemia, no cumplen con recomendaciones internacionales. La prescripción de oxígeno también fue más frecuente en residentes de zonas metropolitanas, que en general cuentan con mejor acceso a la identificación de hipoxemia y a la prescripción de oxígeno.

Se identificó un desfase importante entre la indicación médica de oxígeno y el uso del mismo: aunque 1.7 millones de personas reportaron haber recibido prescripción o recomendación para oxígeno, sólo 20% de ellas contaba con un dispositivo de oxígeno en el hogar. Esto sugiere barreras para el acceso, incluyendo costo, disponibilidad de equipos y aditamentos, y quizá una pobre percepción de necesidad por parte del paciente. Los concentradores estacionarios fueron los más utilizados en la población mexicana (57.2%), aunque aún existe una proporción muy alta que sigue utilizando cilindros a presión a pesar de su menor costoefectividad.^{8,30} Finalmente, el tiempo de uso también es clave: en la población mexicana el uso promedio fue de sólo 7.7 horas, por debajo del mínimo recomendado para obtener beneficio clínico de 15 horas al día,^{7,28} mientras

que los estudios originales como el NOTT recomendaron la oxigenoterapia continua (24 horas/día) con la que se observó una mejora significativa en la supervivencia en pacientes con hipoxemia grave.^{7,8,28}

El presente estudio tiene limitaciones que deben ser mencionadas. El estándar de oro para la medición de oximetría es la gasometría arterial y aquí se utilizó la oximetría de pulso en campo. Sin embargo, la oximetría de pulso es aceptada y no invasiva, y ha demostrado ser de utilidad clínica. La estimación de la prevalencia de "tipo de aparato de oxígeno" y "gasto por uso de oxígeno" fue limitada por el tamaño de muestra; no se pudieron obtener prevalencias por encima del umbral de confiabilidad sugerido por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística. El muestreo de la Ensanut Continua se basó en hogares, lo que excluyó a población hospitalizada, la cual tiene mayor probabilidad de tener hipoxemia y uso de oxígeno suplementario, lo que podría llevar a una subestimación. Sin embargo, debido a que la proporción de la población hospitalizada es relativamente baja en relación con la población total, esta subestimación debe de ser menor.

En conclusión, la desaturación de oxígeno en niveles que se beneficiarían con el uso de oxígeno suplementario afecta aproximadamente a 1% de la población adulta mexicana que vive por encima de los 1 000 msnm. De los participantes que reportaron que su médico les prescribió oxígeno, sólo 19% lo usaba y por un número insuficiente de horas, lo que refleja un desapego a los criterios de prescripción y barreras de acceso al tratamiento. Por otro lado, de los pacientes con hipoxemia grave, sólo 11% tenía prescripción de oxígeno, lo que resalta la necesidad de difundir mejor los criterios de indicación y el acceso a la gasometría arterial en individuos con desaturación por oximetría, para así mejorar el acceso a la oxigenoterapia, principalmente en personas que viven a mayor altitud. Por otro lado, es importante desarrollar un programa de cobertura gratuita de oxígeno con energía eléctrica subsidiada para personas con hipoxemia crónica demostrada por gasometría, enfatizando las horas mínimas de uso al día para tener beneficios. El programa requeriría de vigilancia, y estudios de costoefectividad para verificar su correcta aplicación y su utilidad práctica.

Declaración de conflicto de intereses. Los autores declararon no tener conflicto de intereses.

Referencias

1. Graham HR, Jahan E, Subhi R, Azrin F, Maher JR, Miller JL, et al. The prevalence of hypoxaemia in paediatric and adult patients in health-care

- facilities in low-income and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Health*. 2025;13(2):e222-e231. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00469-8](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00469-8)
2. Perez-Padilla R, Torre-Bouscoulet L, Muino A, Marquez MN, Lopez MV, de Oca MM, et al. Prevalence of oxygen desaturation and use of oxygen at home in adults at sea level and at moderate altitude. *Eur Respir J*. 2006;27(3):594-9. <https://doi.org/10.1183/09031936.06.00075005>
 3. Kacmarek RM, Stoller JK, Heuer AJ. *Egan's Fundamentals of Respiratory Care*. Elsevier Health Sciences, 2019.
 4. Sarkar M, Niranjana N, Banyal P. Mechanisms of hypoxemia. *Lung India*. 2017;34(1):47. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.197116>
 5. Gaston AF, Durand F, Roca E, Doucende G, Hapková I, Subirats E. Exercise-induced hypoxaemia developed at sea-level influences responses to exercise at moderate altitude. *PLoS ONE*. 2016;11(9):e0161819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161819>
 6. Pérez-Padilla R. Population distribution residing at different altitudes. *Arch Med Res*. 2002;33(2):162-6. [https://doi.org/10.1016/S0188-4409\(01\)00377-0](https://doi.org/10.1016/S0188-4409(01)00377-0)
 7. Nocturnal Oxygen Therapy Trial G. Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxemic chronic obstructive lung disease: a clinical trial. Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group. *Ann Intern Med*. 1980;93(3):391-8. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-93-3-391>
 8. Jacobs SS, Krishnan JA, Lederer DJ, Ghazipura M, Hossain T, Tan AM, et al. Home oxygen therapy for adults with chronic lung disease. An official American Thoracic Society Clinical practice guideline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;202(10):e121-41. <https://doi.org/10.1164/rccm.202009-3608ST>
 9. Medical Research Council Working Party. Long term domiciliary oxygen therapy in chronic hypoxic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema. *Lancet*. 1981;1(8222):681-6. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(81\)91970-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(81)91970-X)
 10. Torre-Bouscoulet L, Chávez-Plascencia E, Vázquez-García J, Pérez-Padilla R. Precisión y exactitud de un oxímetro de pulso "de bolsillo" en la ciudad de México. *Rev Invest Clin*. 2006;58(1):28-33.
 11. Lam F, Subhi R, Houdek J, Schroder K, Battu A, Graham H. The prevalence of hypoxemia among pediatric and adult patients presenting to healthcare facilities in low- and middle-income countries: protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev*. 2020;9(1):67. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01326-5>
 12. Romero-Martínez M, Shamah-Levy T, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, et al. Metodología y análisis de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020-2024. *Salud Publica Mex*. 2024;66(6):879-85. <https://doi.org/10.21149/16455>
 13. Leeb G, Auchus I, Law T, Bickler P, Feiner J, Hashi S, et al. The performance of 11 fingertip pulse oximeters during hypoxemia in healthy human participants with varied, quantified skin pigment. *EBioMedicine*. 2024;102:105051. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105051>
 14. Beall CM, Almsy LA, Blangero J, Williams-Blangero S, Brittenham GM, Strohl KP, et al. Percent of oxygen saturation of arterial hemoglobin among Bolivian Aymara at 3,900-4,000 m. *Am J Phys Anthropol*. 1999;108(1):41-51. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199901\)108:1<41::AID-AJPA2>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199901)108:1<41::AID-AJPA2>3.0.CO;2-K)
 15. Crocker ME, Hossen S, Goodman D, Simkovich SM, Kirby M, Thompson LM, et al. Effects of high altitude on respiratory rate and oxygen saturation reference values in healthy infants and children younger than 2 years in four countries: a cross-sectional study. *Lancet Glob Health*. 2020;8(3):e362-73. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30543-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30543-1)
 16. Forrer A, Gaisl T, Sevik A, Meyer M, Senteler L, Lichtblau M, et al. Partial pressure of arterial oxygen in healthy adults at high altitudes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2023;6(6):e2318036. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.18036>
 17. Mallat J, Rahman N, Hamed F, Hernandez G, Fischer M-O. Pathophysiology, mechanisms, and managements of tissue hypoxia. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2022;41(4):101087. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpm.2022.101087>
 18. Rojas-Camayo J, Mejia CR, Callacondo D, Dawson JA, Posso M, Galvan CA, et al. Reference values for oxygen saturation from sea level to the highest human habitation in the Andes in acclimatized persons. *Thorax*. 2018;73(8):776-8. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2017-210598>
 19. Shapiro I, Stein J, MacRae C, O'Reilly M. Pulse oximetry values from 33,080 participants in the Apple Heart & Movement Study. *NPJ Digit Med*. 2023;6(1):134. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00851-6>
 20. Soria R, Egger M, Scherrer U, Bender N, Rimoldi SF. Pulmonary artery pressure and arterial oxygen saturation in people living at high or low altitude: systematic review and meta-analysis. *J Appl Physiol*. 2016;121(5):1151-9. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00394.2016>
 21. Ucros S, Granados CM, Castro-Rodríguez JA, Hill CM. Oxygen saturation in childhood at high altitude: a systematic review. *High Alt Med Biol*. 2020;21(2):14-25. <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0077>
 22. Zysman M, Deslee G, Perez T, Burgel PR, Le Rouzic O, Brinchault-Rabin G, et al. Burden and characteristics of severe chronic hypoxemia in a real-world cohort of subjects with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2021;16:1275-84. <https://doi.org/10.2147/COPD.S295381>
 23. Chowdhury MZL, Turin TC. Variable selection strategies and its importance in clinical prediction modelling. *Fam Med Community Health*. 2020;8(1):e000262. <https://doi.org/10.1136/fmch-2019-000262>
 24. Sánchez-Pájaro A, Guinto-Ramírez S, Mendoza-Alvarado LR, Pérez-Padilla R. Material suplementario. Figshare, 2025. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30214897>
 25. Anderson MR, Shashaty MGS. Impact of obesity in critical illness. *Chest*. 2021;160(6):2135-45. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2021.08.001>
 26. Barrera-Núñez DA, López-Olmedo N, Zavala-Arciniega L, Barrientos-Gutiérrez I, Reynales-Shigematsu LM. Consumo de tabaco y uso de cigarro electrónico en adolescentes y adultos mexicanos. *Ensanut Continua*. 2022. *Salud Publica Mex*. 2023;65:s65-s74 [citado noviembre 11, 2025]. Disponible en: <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/14830>
 27. Engin A. Adipose tissue hypoxia in obesity: clinical reappraisal of hypoxia hypothesis. In: Engin AB, Engin A, eds. *Obesity and Lipotoxicity*. Springer International Publishing, 2024:329-356. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63657-8_11
 28. Ekström M, Andersson A, Papadopoulos S, Kipper T, Pedersen B, Kricka O, et al. Long-term oxygen therapy for 24 or 15 hours per day in severe hypoxemia. *N Engl J Med*. 2024;391(11):977-88. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2402638>
 29. Hungin AP, Chinn DJ, Convery B, Dean C, Cornford CS, Russell A. The prescribing and follow-up of domiciliary oxygen--whose responsibility? A survey of prescribing from primary care. *Br J Gen Pract*. 2003;53(494):714-5.
 30. Andersson A, Strom K, Brodin H, Alton M, Boman G, Jakobsson P, et al. Domiciliary liquid oxygen versus concentrator treatment in chronic hypoxaemia: a cost-utility analysis. *Eur Respir J*. 1998;12(6):1284-9. <https://doi.org/10.1183/09031936.98.12061284>