

Capítulo 4

Análisis longitudinal de la capacidad pulmonar de escolares de la ciudad de Artigas, Uruguay

**Alejandra Marroig¹, Yohana Altez², Virginia Burguete²,
Ramón Álvarez-Vaz¹**

¹ Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República, Uruguay.

² Licenciadas en Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración Universidad de la República, Uruguay.

amarroig@iecon.ccee.edu.uy, ramon@iesta.edu.uy

Resumen. La exposición al entorno de la industrialización del arroz puede afectar la capacidad pulmonar de las personas. En particular, pueden manifestarse afecciones respiratorias en niños y niñas que permanecen varias horas en zonas cercanas a los molinos arroceros [1]. En este trabajo se analiza la capacidad pulmonar de escolares de la ciudad de Artigas, zona de concentración de molinos arroceros, durante un año entre 2015 y 2016. Se comparan los resultados de este estudio con valores obtenidos por un trabajo previo [3] para una población de referencia de todo el país. Además, se indaga acerca del vínculo entre capacidad pulmonar y la proximidad al entorno de industrialización del arroz. La capacidad pulmonar se aproxima mediante la medición del Pico Flujo Espiratorio (PFE) por profesionales de la salud. El diseño del estudio es longitudinal aplicado a una muestra probabilística de escolares de la ciudad de Artigas, de entre 4 y 7 años de edad, a los que se midió en 4 ocasiones a lo largo de un año. Se tomaron medidas de peso, talla y PFE y se obtuvo información de los antecedentes clínicos y condiciones ambientales a las que están expuestos, mediante cuestionarios entregados a los padres. Los valores de PFE relevados en cada ocasión se compararon con los valores percentilares de la población de referencia y, además, se ajustaron modelos de efectos mixtos para analizar la asociación entre la trayectoria del PFE y la industrialización del arroz. Los resultados muestran que los valores del PFE de los escolares de Artigas están por debajo de lo esperado según los valores de referencia para el total del país, lo que indica un potencial mayor riesgo de patologías respiratorias en escolares de Artigas. Por su parte, los resultados del análisis de la trayectoria del PFE son similares a los reportados en trabajos previos para Uruguay en términos de su vínculo con la edad, el peso y la talla. Sin embargo, no se evidencia que un mayor grado de exposición al entorno de industrialización del arroz empeore la trayectoria de PFE entre los escolares de Artigas. Una limitación del análisis es que no se tiene disponible información para otras ciudades fuera de la zona de concentración de molinos arroceros. Por tanto, es relevante que trabajos futuros puedan analizar las trayectorias

de PFE de escolares de distintas ciudades para contar con mayor variabilidad en la exposición a la contaminación ambiental.

Palabras clave: Capacidad Pulmonar, Escolares, Modelos Lineales Mixtos, Molinos Arroceros, Pico Flujo Espiratorio, Uruguay.

Abstract. Exposure to the rice industrialization environment can affect the lung capacity of individuals. In particular, respiratory disorders may occur in children who spend several hours in areas close to rice mills. This work analyzes the lung capacity of schoolchildren in the city of Artigas, an area of concentration of rice mills, between 2015 and 2016. The results of this study are compared with values obtained in previous work [3] for a reference population of the country. In addition, the link between lung capacity and proximity to the rice industrialization environment is investigated. Healthcare professionals measure lung capacity by Peak Expiratory Flow (PEF). The study design is longitudinal applied to a probabilistic sample of schoolchildren from the city of Artigas, aged 4 to 7 years, who were measured on 4 occasions over a year. Weight, height and PEF measurements were taken, and information on the clinical history and environmental conditions, to which the children are exposed, was obtained through questionnaires given to the parents. The PEF values collected on each occasion were compared with the percentile values of the reference population and, in addition, mixed-effects models were fitted to analyze the association between the trajectory of PEF and rice industrialization. The results show that PEF values are below the expected, according to the reference values for the country, indicating a potential higher risk of respiratory pathologies in schoolchildren from Artigas. On the other hand, the results of the analysis of the PEF trajectory are similar to those reported in previous studies for Uruguay in terms of their relationship with age, weight and height. However, there is no evidence that a higher degree of exposure to the rice industrialization environment worsens the PFE trajectory among schoolchildren in Artigas. A limitation of the analysis is that no information is available for other cities outside the rice mill concentration zone. Therefore, it is relevant that future work analyze the PEF trajectories of schoolchildren from different cities in order to have greater variability in exposure to environmental contamination.

Keywords: Lung Capacity, Schoolchildren, Linear Mixed Models, Rice Mills, Peak Expiratory Flow, Uruguay.

4.1. Introducción

Durante el proceso de industrialización del arroz se pueden desprender sustancias extrañas al ambiente y la cantidad existente en el ambiente puede incluso alcanzar niveles peligrosos de contaminantes para la vida de los residentes en el entorno. Según la OMS el *material particulado* suspendido en el aire puede tener efectos adversos para la salud de las personas expuestas, en particular, los sistemas respiratorio y cardiovascular suelen ser los más afectados. Las características individuales como edad o condición clínica, pueden condicionar el grado de adversidad de las afecciones causadas por la contaminación del aire que desprende la industrializa-

ción. En Uruguay, las principales zonas de cultivo de arroz se encuentran al norte, centro y este del país y Artigas es uno de los departamentos que concentra esta actividad [4].

Este trabajo analiza la capacidad pulmonar de los residentes en la ciudad de Artigas (capital del departamento de Artigas, Uruguay) a partir de la medición y evolución del Pico Flujo Espiratorio (PFE) en el período de un año de monitoreo entre 2015 y 2016. Dado que las afecciones respiratorias en la población adulta pueden deberse a otras causas, tales como el tabaquismo, para este trabajo se consideraron únicamente niños y niñas. La población objetivo fueron entonces escolares de entre 4 y 7 años inclusive¹ matriculados en escuelas de la ciudad de Artigas.

El objetivo del trabajo es analizar la evolución del PFE como aproximación a la capacidad pulmonar de los escolares de Artigas en un período de un año de monitoreo aproximadamente y forma parte del Trabajo Final de Grado (TFG) de la Licenciatura en Estadística, [1]. Para ello, se comparan de los valores obtenidos en el estudio con las curvas de referencia para nuestro país obtenidas en el trabajo de Capano y otros [3]. En segundo lugar, ajustando modelos de efectos mixtos al PFE se analizó la asociación con otros factores que modifican la capacidad pulmonar de niños y niñas en Uruguay y, por tanto, la evolución en el tiempo del PFE. En particular, se consideró en qué medida el proceso de industrialización del arroz (zafra, entorno geográfico, entre otras) se asocia con dicha evolución.

La motivación de este estudio proviene de un planteo realizado por la sociedad civil residente en la zona próxima a los molinos arroceros de la ciudad de Artigas, realizado al área Salud Ambiental y Ocupacional del Ministerio de Salud Pública. Quienes formularon el planteo perciben un aumento de las patologías respiratorias que padecen atribuibles a los procesos industriales asociados con la producción de arroz. Esto motivó la búsqueda de información en esta ciudad que es una zona de fuerte concentración de molinos arroceros en nuestro país. Por su parte, el trabajo estuvo motivado por la recolección de datos longitudinales que permite observar la evolución del fenómeno y no únicamente el estado en un momento particular. Por último, interesa desde la perspectiva de salud pública contar con evidencia que permita un mejor entendimiento del fenómeno de salud de la población expuesta a contaminación por industrialización del arroz.

La capacidad pulmonar en la infancia ha sido analizada anteriormente a partir de la medición del PFE considerando características como la edad y sexo. Un estudio para Uruguay permitió obtener como resultado niveles de PFE de referencia según edad, sexo, peso y talla de niños y niñas de entre 3 y 13 años sin enfermedades [3]. Este trabajo permite determinar los valores de las curvas percentilares 10, 50 y 90 y se reportan valores de PFE mayores para los niños respecto de las niñas, condicional en las demás variables (edad, peso y talla).

El trabajo de del Ministerio de Salud Pública (MSP) en 2010 evaluó la función respiratoria de niños y niñas de 6 a 12 años de la ciudad de Tacuarembó. Este trabajo también consideró el potencial efecto de la zafra arroceras sobre esta función y concluyen que si bien la proximidad a la planta muestra una leve tendencia a la disminución de los PFE (aumento de las diferencias) durante la zafra, ésta no es estadísticamente significativa. Por lo tanto, no se puede concluir que la proximidad a la planta aumente la probabilidad de afectación respiratoria, presentándose modi-

¹Responde al grupo etario con mayor sensibilidad a las variaciones de la calidad de aire.

ficaciones del PFE tanto en los niños que concurren a escuelas cercanas a la planta como los que no.

Objetivos

1. Comparar el valor de PFE observado de niñas y niños de la ciudad de Artigas con los valores percentilares de las curvas de referencia obtenidas anteriormente para todo el país.
2. Estudiar la asociación de la capacidad pulmonar, medida a través de la evolución del PFE a lo largo del período de monitoreo, con la exposición a la contaminación (en domicilio y por la industrialización del arroz) y con otros factores de riesgo individuales como presencia de patologías respiratorias.

4.2. Material y método

Datos

En esta investigación se utiliza una base de datos que fue construida especialmente para este análisis. El trabajo de campo fue realizado entre 2015 y 2016 y la muestra fue de 714 escolares, provenientes de 20 escuelas urbanas de la ciudad de Artigas². A cada escolar se lo monitoreó en máximo 4 ocasiones a lo largo de 2 años. Cada monitoreo, constaba del relevamiento de tres variables: peso, talla y capacidad pulmonar además de los tomados del cuestionario en la primer etapa. Las medidas fueron tomadas por doctores y enfermeros del MSP. Tanto los evaluadores como escolares participantes y sus familias, fueron instruidos en el procedimiento de toma de datos [1]. Además de estas medidas, se les proporcionaron cuestionarios a los padres y madres para recabar información de niños y niñas y sus condiciones de salud previas a la realización de este estudio.

La base de datos contiene diversa información acerca de las características del escolar y su entorno que se resume de la siguiente manera:

Características personales del escolar en la línea de base. Se recopiló información personal del escolar (nombre, cédula, sexo, etc.) de los listados de ANEP y del cuestionario realizado en la primera etapa de monitoreo de las 4 llevadas a cabo, tal como se describe en la sección 4.2.

Antecedentes de salud y ambientales del escolar y su hogar en la línea de base. Surgen del cuestionario realizado en la primera etapa de monitoreo. Contienen información acerca de los antecedentes de salud del escolar (diagnóstico médico, uso de medicamentos, etc.), antecedentes ambientales (fumadores dentro del hogar, métodos de calefacción y cocinar, etc.) y otras variables de interés que fueron tomadas únicamente en esta etapa.

Medidas del escolar en la línea de base y durante el seguimiento. Surgen de cada etapa del monitoreo e incluyen las medidas de peso, talla y PFE, así como otras características relevadas a lo largo del estudio.

²Una descripción más detallada del muestreo y cómo se realizó el trabajo de campo se puede encontrar en [1].

Características adicionales creadas a partir de la información relevada: edad y zonas geográficas (se incluyeron variables indicadoras de la zona de residencia de los escolares en la ciudad de Artigas: Zona Cerros, Zona Industrial, Zona Centro, Zona Microcentro y Zona Periferia, ver Figura ??). Las zonas geográficas fueron construidas en función de una mayor o menor proximidad a los molinos arroceros.

Métodos

El análisis de los datos y las estimaciones fueron realizados con el programa R para ambos objetivos planteados. Las principales librerías utilizadas fueron `nlmeU(5)`, `nlme(16)` y `tidyverse(25)`. A continuación se detallan los métodos empleados para abordar cada uno de los objetivos del trabajo.

Comparación de curvas percentilares de PFE

En primer lugar, siguiendo la metodología empleada por Capano y otros [3] se obtuvieron los valores de PFE de referencia para el total del país que permiten la comparación con los valores obtenidos en la muestra de escolares de Artigas. En el estudio de referencia, se determinaron los valores percentilares 10, 50 y 90 según sexo, peso, talla y edad. Esto fue realizado haciendo una estimación por mínimos cuadrados al polinomio de segundo grado $y = a+bx+cx^2$, donde y es el valor del PFE y x cada una de las variables antes mencionadas. Los coeficientes de determinación resultantes para cuando la x es talla fueron 0.99, 0.98 y 1.00 para los percentiles 10, 50 y 90 respectivamente y levemente inferiores cuando se considera peso y edad. Por tanto, para el presente trabajo se utilizaron los valores de PFE de referencia obtenidos con la talla de los niños y niñas.

Para realizar la comparación con los valores de PFE en la muestra de nuestro trabajo se calcularon los percentiles del PFE en función de las tallas obtenidas en las etapas de monitoreo del presente estudio.

Una vez obtenidos los valores de PFE de referencia del PFE se realizan visualizaciones y descriptivas de resumen que permiten comparar los resultados de nuestro estudio con los valores de referencia. Cabe destacar que las curvas percentilares de referencia fueron obtenidas con datos de un momento específico de tiempo considerando niños y niñas de diferentes edades y con variación en las demás variables consideradas (peso y talla) para estimar los percentiles de referencia. Sin embargo, la información recogida en este estudio se realizó a lo largo del tiempo para los mismos individuos de la muestra. De esta forma, adicionalmente se puede estudiar la trayectoria del PFE de los escolares de la ciudad de Artigas a lo largo de período de monitoreo.

Modelo de efectos mixtos para la evolución del PFE

El segundo objetivo del trabajo consiste en estudiar la evolución del PFE a lo largo del período de monitoreo y, en particular, su asociación con la exposición a la contaminación del ambiente (por factores domésticos y de la industrialización del arroz) y con otras dimensiones como la presencia de patologías respiratorias.

Para abordar este objetivo se ajustaron modelos lineales de efectos mixtos a las medidas de PFE obtenidas en las 4 etapas del monitoreo, usando el software R [6, 8]. Estos modelos se han convertido en una herramienta estándar de análisis

de la trayectoria de una medida longitudinal *gaussiana* a lo largo del tiempo y son utilizados para analizar el efecto de covariables sobre dichas trayectorias, [2, 5, 7, 9, 10]. Estos modelos permiten considerar la correlación existente entre las observaciones de un conjunto de datos y, además, separar la variación de la variable de interés en componentes que corresponden a diferentes niveles de jerarquía de datos. Además, en el trabajo previo de Altez y Burguete [1] se reporta que este modelo resulta el más adecuado para ajustar las medidas del PFE en las distintas etapas del estudio. Por tanto, este enfoque permite un mejor entendimiento de la capacidad pulmonar de los escolares y su asociación con otros factores de interés.

En la formulación del modelo lineal de efectos mixtos la variable de interés es la medida del PFE en cada una de las 4 etapas del monitoreo. Esta variable PFE_{ij} y corresponde a la medida del PFE para el individuo i en la ocasión j , en el momento t_{ij} , con $i = 1, \dots, N$ y $j = 1, \dots, n_i$. En estos modelos la ocasión j puede no coincidir con la variable tiempo t_{ij} , que en este caso será la edad de cada escolar, es decir $t_{ij} = edad_{ij}$. Esto permite diferenciar el momento en que se toma la medida, de la variable de tiempo por la que se ajusta en el modelo, es decir edad del escolar al momento de la medición. De esta forma los individuos pueden tener las mediciones de la variable de resultado en distintos momentos del tiempo y, además, la cantidad de mediciones puede variar entre individuos.

La ecuación del modelo de efectos mixtos a estimar es:

$$\begin{aligned}
 PFE_{ij} = & \beta_0 + \beta_1 PFE_{i1} + \\
 & \beta_2 edad_{ij} + \beta_3 peso_{ij} + \beta_4 talla_{ij} + \\
 & \beta_{5,2} Z_I_i + \beta_{5,3} Z_P_i + \\
 & \beta_{5,4} Z_C_i + \beta_{5,5} Z_M_i + \\
 & \beta_{6,2} E_3_j + \beta_{6,3} E_4_j + \\
 & \mathbf{b}_i \mathbf{X}_i + \varepsilon_{ij}.
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Las covariables para ajustar la trayectoria del PFE de los escolares utilizadas son el valor medido en la línea de base de este estudio (PFE_{1i}), la edad en cada etapa de monitoreo ($edad_{ij}$, variable temporal), las mediciones de peso y talla en cada etapa ($peso_{ij}$ y $talla_{ij}$) y la zona de residencia del escolar (Z_I_i , Z_P_i , Z_C_i y Z_M_i). Además, se incorporan variables indicadoras de la ocasión de medición en la etapa 3 y 4 (E_3_j y E_4_j) para controlar por el momento de medición y poder relacionar la trayectoria con el proceso de industrialización del arroz y la zafra del mismo. \mathbf{X}_i incluye las variables para las que se agregaron efectos aleatorios (\mathbf{b}_i) de forma de considerar heterogeneidad entre individuos en los efectos sobre la trayectoria.

4.3. Resultados

Estadísticas descriptivas

La distribución de casos en las etapas del estudio es la siguiente:

Tabla 4.1: Distribución de respuestas según etapa del estudio.

Etapa	Fecha	Período	Casos
1	Mayo 2015	Post-zafra	491 (68,8 %)
2	Setiembre 2015	Fuera zafra	577 (80,8 %)
3	Diciembre 2015	Fuera zafra	560 (78,4 %)
4	Abril 2016	Zafra	596 (83,5 %)

La etapa 1, fue en la que se relevó menor cantidad de datos, le sigue la tercera etapa, en donde condiciones climáticas (hubo alerta roja por fuertes vientos y precipitaciones) y la fecha cercana al año escolar pudieron afectar la cantidad de casos relevados. Más del 52 % (373) de los niños y niñas sorteados (714), estuvieron presentes en todas las instancias del monitoreo, mientras que el 8 % (59 participantes) nunca fue monitoreado. Un punto a destacar, es que hubo 100 casos de no respuesta en la primera etapa que lograron “captarse” en la segunda etapa, y 47 niños ausentes en la tercera etapa, debido a razones antes mencionadas.

Con las mediciones obtenidas de capacidad pulmonar, esto es los valores de PFE, se realizan diagramas de caja para analizar, entre otras cosas, la dispersión de los datos.

En la Figura 4.1 se puede apreciar que para el caso de las niñas, las cuatro mediciones de PFE presentan mayor concentración antes del segundo cuartil. Además, se observa que la primera etapa es la que presenta mayor dispersión en el rango intercuartílico y desde la segunda etapa en adelante el comportamiento del primer, segundo y tercer cuartil muestran un crecimiento moderado constante. Por otro lado, los valores mínimos se presentan estables entre 70 y 80 l/min y los valores máximos tienen grandes incrementos, reflejando mayores valores medidos en la cuarta etapa (340 l/min). Para el caso de los varones (gráfico de la derecha), los diagramas reflejan mayor simetría de los datos en comparación con las niñas. Se observa también, una clara desmejora en la segunda etapa para el tercer y cuarto cuartil. Las mejores mediciones se presentaron constantes en las primeras tres etapas y se destaca un incremento en la última toma de datos.

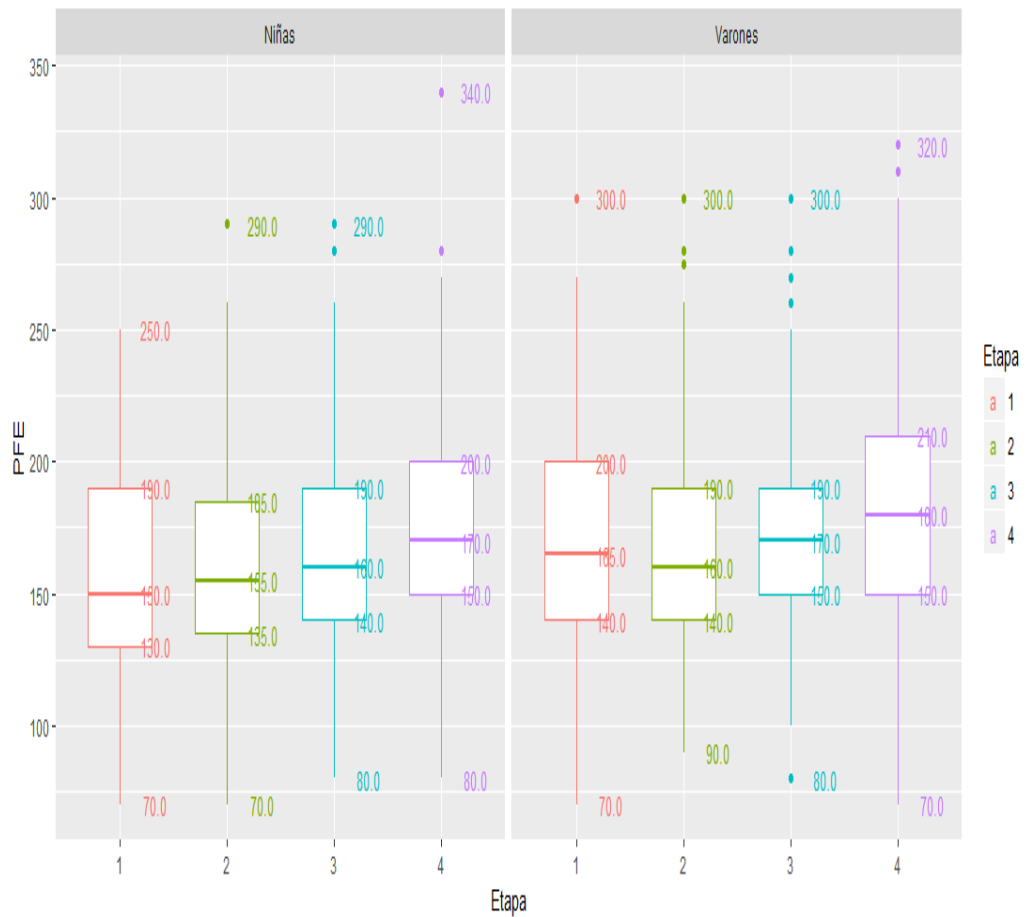


Figura 4.1: Diagrama de caja de PFE por sexo según etapa.

Comparación con valores de referencia nacional

Se presentan los resultados concernientes al primer objetivo planteado. Se consideran los valores de referencia de PFE de la población de niñas y niños de Uruguay sin patologías y en condiciones ambientales óptimas obtenidas por Capano et al [3].

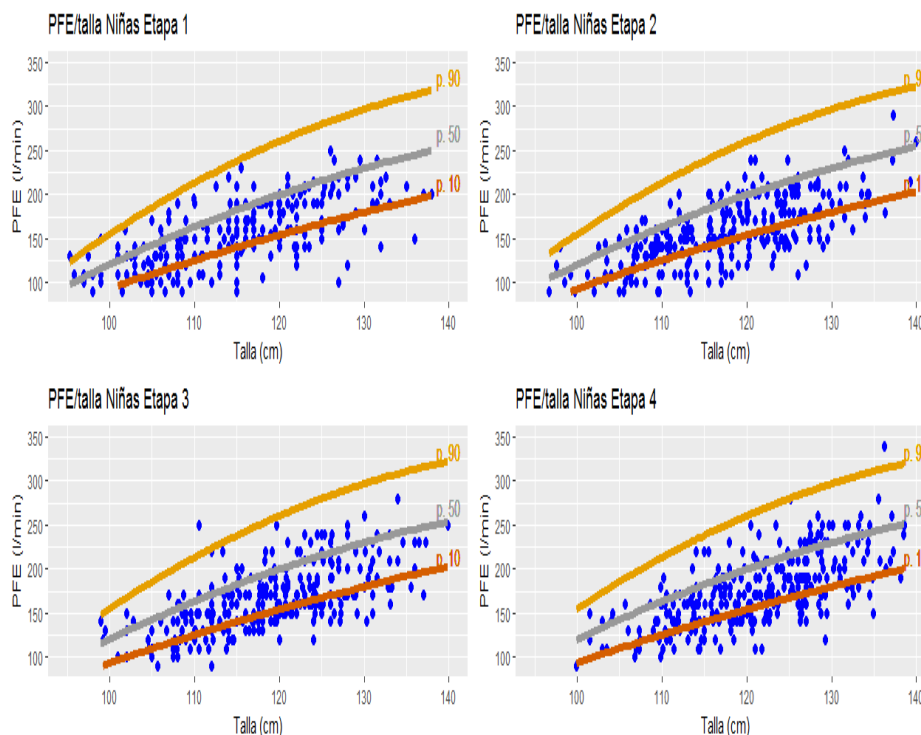


Figura 4.2: PFE observado vs. PFE/talla de referencia para niñas por etapa.

La Figura 4.2 muestra los valores observados del PFE para niñas en cada etapa con sus respectivos valores percentilares calculados a partir de la talla. Además, se representan los valores PFE/talla que son poblacionales de PFE ajustados por talla del trabajo [3]. Los valores observados, no tienen el comportamiento esperado. La mayoría de los valores se encuentran concentrados por debajo del Percentil 50 y casi no hay observaciones por encima del Percentil 90. En la Figura 4.2 se espera contar con el 10 % de las observaciones, sin embargo figuran el 26 %, 32 %, 36 % y 28 % respectivamente para cada etapa. Lo mismo para el caso del Percentil 50, donde se concentran más del 80 % de las observaciones a lo largo de todo el monitoreo y se verifica también que por encima del Percentil 90, se registran pocas observaciones lejos del 10 % esperado.

Análogamente para los varones monitoreados, en la Figura 4.3 se presentan los valores observados de PFE contra los percentiles 10, 50 y 90 según talla para cada etapa. Para los varones, los porcentajes acumulados hasta el percentil 10 en cada etapa son de 15 %, 25 %, 22 % y 19 % respectivamente, valores por encima de los esperados.

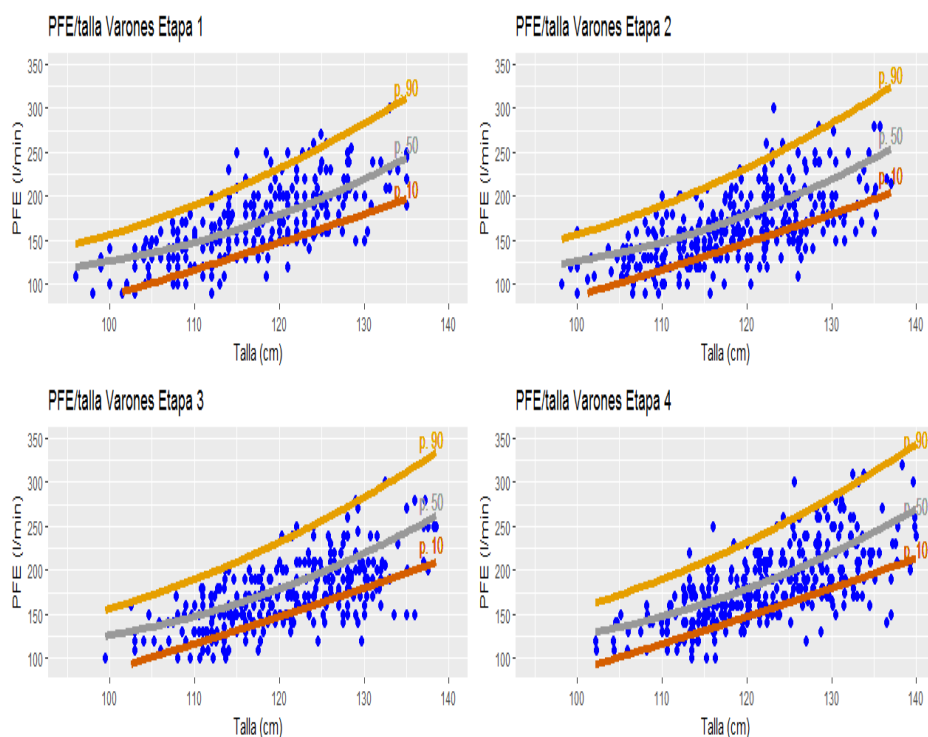


Figura 4.3: PFE observado vs. PFE/talla de referencia para varones por etapa.

Sin embargo, los resultados muestran un mejor desempeño en términos del PFE para los varones respecto a las niñas.

Análisis longitudinal del PFE

Finalmente se realiza el análisis de la trayectoria del PFE a partir de modelos lineales de efectos mixtos. En ellos se introducen los efectos aleatorios a las variables explicativas y se obtienen los resultados de la estimación que se presentan en la Tabla 4.2.

Los resultados indican que el parámetro de escala σ estimado es 20,4. Los coeficientes de potencia δ de la función de varianza para las etapas 3 y 4, toman los valores 0,88 y 1,07 respectivamente. La estimación de la desviación estándar de las intersecciones aleatorias es de 17,5. La varianza estimada de los interceptos aleatorios es igual a 308. Se debe tener presente que es el menor valor obtenido para todos los modelos realizados. Esto se espera, ya que, al permitir errores aleatorios residuales heterocedásticos, una gran parte de la variabilidad total se explica por las variaciones residuales.

Para este modelo, se puede interpretar que la zona de residencia del niño infiere en la capacidad pulmonar, dado que dejando las demás variables constantes, los niños de la zona Centro tienen un PFE por debajo de la zona Cerros (indicadora

omitida), siendo que en promedio tienen una capacidad respiratoria 9,49 l/min menor si reside en el centro respecto a si reside en zona cerros, dado todo lo demás igual. Por su parte, para la zona Industrial, Periferia y Microcentro los coeficientes resultaron negativos pero no estadísticamente significativos, por lo que no podemos decir que estas zonas se diferencien respecto de la la zona Cerros. , 4,46 l/min menor si reside en la periferia, 2,00 l/min por debajo si reside en la zona industrial y 0,36 l/min menor si reside en el microcentro de la ciudad. Además, dejando las demás variables constantes, en la etapa 3 los niños registraron una capacidad pulmonar de 3,04 l/min por encima que en la etapa 2 y en la cuarta etapa incrementan su capacidad en 10,66 l/min respecto a la etapa 2. Las variables como la *edad*, el *peso* y la *talla*, confirman los resultados mostrados en la investigación previa [3], en cuanto a la relación de estas variables con la capacidad pulmonar.

Tabla 4.2: Estimación del modelo efectos mixtos de la ecuación 4.1.

<i>Variable</i>	Coefficiente	Error Est.	p-valor
PFE.1	0,45	0,04	0,00
edad	4,84	1,46	0,00
peso	0,81	0,27	0,00
talla	0,78	0,27	0,00
Zona Industrial	-2,00	3,59	0,58
Zona Periferia	-4,46	3,19	0,16
Zona Centro	-9,49	3,61	0,01
Zona Microcentro	-0,36	4,90	0,94
Etapa 3	3,04	1,36	0,03
Etapa 4	10,66	1,59	0,00
Medida de ajuste	Coefficiente	<i>(I.C)</i>	
<i>Reestructura: SD</i>	17,54	(15,92 19,33)	
<i>F varianza: (E.3^δ)</i>	0,88	(0,76 1,01)	
<i>F varianza: (E.4^δ)</i>	1,07	(0,95 1,22)	
<i>Escala σ</i>	20,37	(18,67 22,23)	
Log-FVR	-6069		
AIC	12168		
BIC	12246		

4.4. Conclusiones

Este trabajo se propuso analizar la capacidad pulmonar de escolares de la ciudad de Artigas utilizando la medida de PFE en cuatro etapas de monitoreo llevadas adelante durante un año en el período 2015-2016.

En primer lugar, se compararon las medidas de PFE en cada una de las etapas de este estudio con los resultados obtenidos para una población sin patologías y en condiciones ambientales óptimas a nivel de todo el país [3]. Los valores percentilares de las curvas de referencia que surgen de ese trabajo se comparan con las mediciones de PFE de cada etapa ajustadas por sexo y talla. Los resultados muestran que la cantidad de niñas con niveles de PFE que están por debajo de los percentiles de referencia son más que las esperadas según su talla. La mayoría de los valores

se encuentran concentrados por debajo de percentil 50 y prácticamente no hay observaciones por encima del percentil 90. Las mediciones por debajo del percentil 10 en esta muestra están muy por encima de los valores esprados, 26, 32, 36 y 28% respectivamente en cada etapa. Por su parte, las mediciones de PFE de los varones también resultan peores que las obtenidas para la población de referencia ya que debajo del percentil 10 según la talla se encontraron 15, 26, 21 y 19% de las medidas respectivamente en cada etapa. Esta situación se traslada al resto de franjas percentilares (50 y 90) en donde la proporción de casos con mediciones de PFE en este estudio está muy por encima de lo esperado. Además, cabe destacar que los resultados para esta muestra indican un mejor desempeño para los varones que para las niñas, en términos de los niveles de PFE en las distintas etapas de monitoreo.

Desde un punto de vista geográfico y estático, las zonas de residencia con mayor proporción de mediciones de PFE por debajo del percentil 10 en promedio en las 4 etapas de monitoreo, son el Centro y Microcentro, mientras que la zona Industrial es la que tiene mejores mediciones en promedio para todo el período de duración del estudio. Por lo tanto, los resultados no permiten concluir que residencia más cercana a la zona de molinos incide negativamente en las mediciones de PFE y por lo tanto en la capacidad pulmonar de los escolares de esta ciudad. Sin embargo, cabe destacar que tomando en cuenta el total de mediciones por etapa sin desagregar por género, más del 26% de la población analizada en este estudio presenta valores de PFE por debajo del percentil 10 de referencia (obtenido para la población de todo el país).

Se puede concluir entonces que los valores de PFE de los escolares de la ciudad de Artigas participantes en este estudio está por debajo de los valores esperados para la población uruguaya sin patologías respiratorias. Por tanto, este trabajo aporta evidencia que indica un mayor riesgo de presencia de patologías respiratorias en los escolares de esta ciudad respecto a los escolares del total del país.

En segundo lugar, el enfoque longitudinal incorporado para analizar la trayectoria del PFE permitió determinar las variables asociadas con la evolución de esta medida durante un año para los escolares residentes en Artigas. Lo que en definitiva aproxima la capacidad pulmonar a lo largo de un período con y sin período de zafra del arroz y además que permite observar variabilidad según zona de residencia de los escolares de Artigas, Uruguay.

El análisis de la trayectoria mediante un modelo lineal con efectos mixtos, permitió incorporar aleatoriedad a los efectos de las variables consideradas. Es decir, el modelo ajusta la trayectoria a lo largo de un año considerando heterogeneidad individual en la evolución del PFE.

En este análisis los resultados respecto de las asociaciones entre PFE con *edad*, *peso* y *talla* están alineados con los resultados de trabajos previos [3] y, por tanto, concuerdan en términos de los factores asociados a la capacidad pulmonar en esta etapa de la vida. Por su parte, en este análisis la zona de residencia del escolar no resultó asociada con la evolución del PFE. Esto surge al observar las zonas que presentan un PFE por debajo de la zona cerros. Por su parte, en cuanto a la etapa de monitoreo, en la tercera y cuarta etapa la medida promedio de PFE es mayor respecto a la medida en la etapa 2. En particular, en la etapa 3 el PFE promedio es 3,04 l/min mayor que en la etapa 2 y en la etapa 4 se incrementa en promedio 10,66 l/min respecto a la etapa 2. Por tanto, los períodos de zafra arrocería (etapa 3 y 4

del monitoreo) no presentan menores mediciones promedio del PFE de los escolares respecto a los períodos post-zafra o fuera de zafra.

Por tanto, el análisis del PFE mediante un enfoque longitudinal no evidencia que un mayor grado de exposición al entorno de industrialización del arroz empeore la trayectoria de PFE. Este resultado surge al evaluar diferencias por zonas de escolares residentes de la ciudad de Artigas. Con la información disponible fue posible diferenciar por zonas según la localización del hogar del escolar. Luego, estas zonas se vincularon con la forma de ubicación en el territorio de los molinos arroceros en la ciudad de Artigas. Sin embargo, no fue posible analizar si los escolares residentes en zonas lejanas a la zona industrial pudieron estar potencialmente expuestos a la contaminación al acudir durante varias horas al día a centros educativos, hogares de familiares, entre otras actividades, en la zona donde se encuentran los molinos. Esto pudo haber influido en las estimaciones del modelo.

De esta forma, surge una limitación de este trabajo por no contar con información más precisa en cuanto a la cantidad de horas al día de exposición a la contaminación de los escolares o también tener información de otras ciudades fuera de la zona de concentración de molinos arroceros para asegurar la correcta identificación del tiempo de exposición diario a la contaminación. Con la información disponible en este estudio fue posible una primera aproximación al problema, diferenciando por zonas de localización de los hogares de niños y niñas. Sin embargo, no fue posible distinguir con precisión entre escolares de Artigas quiénes se encontraban muchas horas al día expuestos a la contaminación y quiénes no. Por tanto, no haber encontrado una asociación entre la zona de residencia y la trayectoria del PFE puede estar afectado por este problema de identificación a partir de la información disponible. Es relevante entonces que trabajos futuros puedan analizar las trayectorias de PFE de escolares de distintas ciudades para contar con mayor variabilidad en la exposición a la contaminación ambiental.

Bibliografía

- [1] Y. ALTEZ, Y V. BURGUETE, *La capacidad pulmonar de escolares de la ciudad de Artigas y la relación con su entorno: Una aplicación de Modelos Mixtos*, Trabajo Final de Grado para la Licenciatura en Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, UdelAR, 2018.
- [2] D. BATES, M. MÄCHLER, B. BOLKER Y S. WALKER, *Fitting linear mixed-effects models using lme4*, Journal of Statistical Software, 67(1): 1–48, 2015.
- [3] A. CAPANO, M. SARÁCHAGA, P. ESTOL, S. ORSI, C. LAPIDES, Y N, FERREIRA, *Pico de flujo espiratorio en niños uruguayos sin enfermedad, de 3 a 13 años*, Revista chilena de pediatría, 78(4), 2007.
- [4] CASARONE *Informe Ambiental Resumen*, Reporte técnico, 2010.
- [5] A. GALECKI Y T. BURZYKOWSKI, *Linear Mixed-Effects Models Using R: A Step-by-Step Approach*, 1ra ed, Springer, New York. ISBN 978-1-4614-3899-1, <http://www-personal.umich.edu/~agalecki>, 2013.
- [6] R CORE TEAM, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>, 2018.
- [7] D. RIZOPOULOS, *Joint Models for Longitudinal and Time-to-event Data*, Chapman & Hall. CRC Biostatistics Series, 2012.
- [8] H. WICKHAM, *tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse' R package version 1.2.1*. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>, 2017.
- [9] G. VERBEKE, Y E. LESAFFRE, *A linear mixed-effects model with heterogeneity in the random-effects population*, Journal of the American Statistical Association, (433): 217–221, 1996.
- [10] G. VERBEKE Y G. MOLENBERGHS, *Linear Mixed Models for Longitudinal Data*, Springer-Verlag, New York, 2000.