

En estas condiciones, una reducción de las emisiones de NO_x tiene como consecuencia que se consuma menos O_3 por reacción con NO .

4.3.3.- Variabilidad diaria

La variabilidad de las concentraciones de O_3 a lo largo del día en los diferentes tipos de emplazamientos para todos los años del periodo de estudio se muestra en la figura 17. Es evidente que las restricciones durante el confinamiento tampoco afectaron a la variación diaria de los niveles de ozono, siendo dicha variabilidad muy similar en las diferentes estaciones de medida durante los 4 años de estudio. Puede observarse claramente que el ciclo diario del ozono está caracterizado por máximos durante las primeras horas de la tarde coincidiendo con los valores más altos de radiación solar y, por tanto, de mayor producción fotoquímica de O_3 . Los valores mínimos registrados al amanecer se deben a la destrucción de ozono por reacción con el NO emitido por el tráfico durante la hora punta de la mañana. Esta disminución es especialmente evidente en las estaciones urbanas, en las que el flujo de vehículos es superior. En las estaciones rurales se observan diferencias en los valores máximos de ozono durante los años 2018 y 2019 con respecto al 2020 y 2021. Así, puede apreciarse que las concentraciones entre las 11:00 y las 19:00 aproximadamente fueron entre $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superiores en 2018 y 2019, estas diferencias son estadísticamente significativas. Como se ha mencionado anteriormente, los procesos que condicionan la variabilidad de las concentraciones de ozono son complejos y dependen de multitud de variables; sin embargo, la disminución de las concentraciones máximas en zonas rurales durante 2020 y 2021 pudo deberse parcialmente a la reducción de las emisiones de precursores de ozono, principalmente óxidos de nitrógeno, en los centros urbanos próximos.

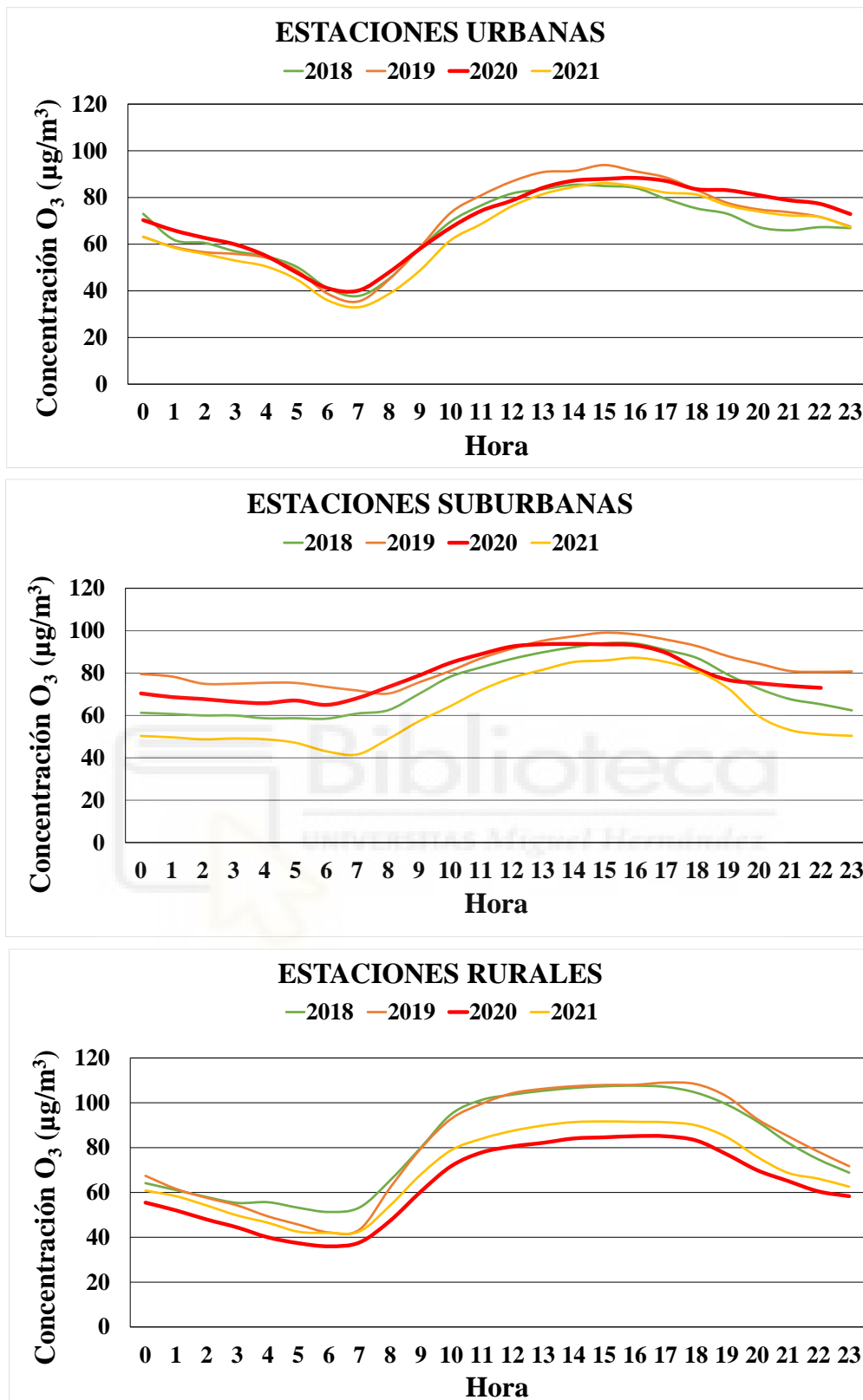


Figura 17. Evolución diaria promedio de los niveles de O₃ en estaciones urbanas, suburbanas y rurales para los distintos años de estudio.

5.- CONCLUSIONES

Este estudio ha permitido analizar los efectos del confinamiento sobre la calidad del aire en la Comunidad Valenciana, a través de los contaminantes atmosféricos de referencia óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono troposférico (O_3).

La reducción de los desplazamientos por carretera debido a las restricciones de movilidad durante el período de confinamiento de 2020 produjo una disminución significativa de las concentraciones promedio de óxidos de nitrógeno en zonas urbanas y suburbanas. Esta disminución fue más acusada durante la hora punta vespertina debido a la mayor reducción del flujo de vehículos en esa franja horaria. En zonas rurales, donde las emisiones de NO_x por el tráfico rodado son sensiblemente inferiores, no se observó un impacto significativo de la reducción de las actividades antropogénicas sobre los niveles de estos contaminantes.

Las concentraciones de O_3 en las estaciones urbanas y suburbanas no se vieron alteradas durante el periodo de confinamiento, a pesar de la reducción en las emisiones antropogénicas de sus precursores (NO_x y compuestos orgánicos volátiles o COVs). La razón puede ser que la generación de O_3 en la troposfera es un proceso complejo que depende de multitud de variables, como puede ser la relación entre las concentraciones de COVs y NO_x característica de cada zona. En las estaciones rurales se observó una disminución de las concentraciones máximas de O_3 alcanzadas a mediodía durante los años 2020 y 2021, debido en parte a una caída en las emisiones de sus precursores, principalmente óxidos de nitrógeno, en zonas urbanas próximas. La situación excepcional vivida a consecuencia del confinamiento motivado por el COVID-19 pone de manifiesto la estrecha relación entre contaminación atmosférica y actividad humana, y la necesidad latente de abordar cambios de forma urgente en nuestro modo actual de vida para alcanzar una mejora en la calidad del aire, y por consiguiente, en nuestra propia calidad de vida.

6.- PROYECCIÓN FUTURA

Con la finalidad de completar los resultados de este trabajo y aumentar el conocimiento sobre el impacto del confinamiento en la calidad del aire sería conveniente ampliar el número de emplazamientos estudiados incluyendo, además, estaciones de medida situadas en zonas industriales. Por otro lado, el análisis se podría extender a otros contaminantes de gran interés medioambiental, como son las partículas atmosféricas y los COVs, debido no solo a sus efectos sobre la salud sino también a su papel como precursores de otros contaminantes atmosféricos.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- Agathokleous, E., Saitanis, C. J., Wang, X., Watanabe, M., & Koike, T. (2016). *A review study on past 40 years of research on effects of tropospheric O₃ on belowground structure, functioning, and processes of trees: a linkage with potential ecological implications*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, 33.
- Atkinson, R. (2000). *Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x*. *Atmospheric Environment*, 34, 2063–2101.
- Baldasano, J.M. (2020). *COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain)*. *Science of The Total Environment*, 741, 140353.
- Bermejo, V., Alonso del Almo, R., Cozar, S., Rábago, I., Aracil, J., García, M. (2009). *El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Boletín Oficial del Estado (Agencia Estatal). *Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo de 2020, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-3692>
- Boletín Oficial del Estado (Agencia Estatal). *Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-81053>
- Chen, T. M., Kuschner, W. G., Gokhale, J., Shofer, S. (2007). *Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects*. *The American Journal of the Medical Sciences*, 333, 249–256.
- Donzelli, G., Cioni, L., Cancellieri, M., Llopis Morales, A., Morales Suárez-Varela, M.M. (2021). *The effect of the Covid-19 lockdown on air quality in three Italian medium-sized cities*. *Atmosphere* 11, 1118
- Elshorbany, Y.F., Kapper, H.C., Ziemke, J.R., Parr, S.A. (2021). *The status of air quality in the United States during the COVID-19 pandemic: A remote sensing perspective*. *Remote Sensing* 13, 369
- European Environment Agency (2018). *Air quality in Europe*. Publications Office of the European Union. Luxembourg.
- European Environment Agency. (2020, septiembre). *Air quality in Europe — 2020 report* (No 09/2020).

- Jephcote, C., Hansell, A.L., Adams, K., Gulliver, J. (2021), *Changes in air quality during COVID-19 'lockdown' in the United Kingdom*. Environmental Pollution, 72, 116011.
- Khaniabadi, Y.O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S.M. et al. (2017). *Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health*. Environmental Science and Pollution Research 24, 2781–2789
- Kroll, J.H., Heald, C.L., Cappa, C.D., Farmer, D.K., Fry, J.L., Murphy, J.G., Steiner, A.L. (2020). *The complex chemical effect of COVID-19 shutdowns on air quality*. Nature Chemistry 12, 777–779.
- Latza, U., Gerdes, S., & Baur, X. (2009). *Effects of nitrogen dioxide on human health: Systematic review of experimental and epidemiological studies conducted between 2002 and 2006*. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 212(3), 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2008.06.003>.
- Liu, T., Wang, X., Hu, J., Wang, Q., An, J., Gong, K., Sun, J., Li, L., Qin, M., Li, J., Tian, J., Huang, Y., Liao, H., Zhou, M., Hu, Q., Yan, R., Wang, H., Huang, C. (2020). *Driving forces of changes in air quality during the COVID-19 lockdown period in the Yangtze River Delta Region, China*. Environmental Science & Technology Letters 7, 779–786
- Manchanda, C., Kumar, M., Singh, V., Faisal, M., Hazarika, N., Shukla, A., Lalchandani, V., Goel, V., Thamban, N., Ganguly, D., Tripathi, S.N. (2021). *Variation in chemical composition and sources of PM_{2.5} during the COVID-19 lockdown in Delhi*. Environment International 153, 106541
- Meng, X., Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., Milojevic, A. et al. (2021). *Short term associations of ambient nitrogen dioxide with daily total, cardiovascular, and respiratory mortality: multilocation analysis in 398 cities*. BMJ Clinical Research 372, n534.
- Menut, L., Bessagnet, B., Siour, G., Mailler, S., Pennel, R., Cholakian, A. (2020). *Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe*. Science of the Total Environment 741, 140426
- Nitschke, M. (1999). *Respiratory health effects of nitrogen dioxide exposure and current guidelines*. International Journal of Environmental Health Research 9, 39-53
- Nuvolone, D., Petri, D., Voller, F. (2018). *The effects of ozone on human health*. Environmental Science and Pollution Research, 25, 8074–8088.

- Seinfeld, J.H., & Pandis, S.N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Sicard, P., Paoletti, E., Agathokleous, E., Araminienè, V., Proietti, C., Coulibaly, F., De Marco, A., 2020. *Ozone weekend effect in cities: Deep insights for urban air pollution control*. *Environmental Research* 191, 110193.
- Slezakova, K., Pereira, M.C. (2021). *COVID-19 lockdown and the impacts on air quality with emphasis on urban, suburban and rural zones*. *Scientific Reports* 11, 21336
- Venter, Z.S., Aunan, K., Chowdhury, S., Lelieveld, J. (2020). *COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117, 18984-18990
- Vingarzan, R. (2004). *A Review of Surface Ozone Background Levels and Trends*. *Atmospheric Environment*, 38, 3431-3442.
- Wang, M., Li, H., Qian, Y., Steenland, K., Xie, Y., Papatheodorou, S., Shi, L. (2021). *Short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality: A systematic review and meta-analysis*. *Environmental Research* 202, 111766
- Wang, T., Xue, L., Feng, Z., Dai, J., Zhang, Y., Tan, Y., 2022. *Ground-level ozone pollution in China: a synthesis of recent findings on influencing factors and impacts*. *Environmental Research Letters* 17, 063003
- Wyche, K.P., Nichols, M., Parfitt, H., Beckett, P., Gregg, D.J., Smallbone, K.L., Monks, P.S. (2021). *Changes in ambient air quality and atmospheric composition and reactivity in the South East of the UK as a result of the COVID-19 lockdown*. *Science of the Total Environment* 755, 142526.
- Yin, H., Liu, C., Hu, Q., Liu, T., Wang, S., Gao, M., Xu, S., Zhang, C., & Su, W. (2021). *Opposite impact of emission reduction during the COVID-19 lockdown period on the surface concentrations of PM_{2.5} and O₃ in Wuhan, China*. *Environmental Pollution*, 289, 117899.