



Universidad de Oviedo



Universidad de Oviedo
FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA

GRADO EN ECONOMÍA

2021/2022

TRABAJO FIN DE GRADO

**IMPACTO DEL CONFINAMIENTO DE 2020 EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS
CIUDADES DE ASTURIAS**

JULIO GÓMEZ ZAPICO

OVIEDO, 5 DE JULIO DE 2022

TÍTULO EN ESPAÑOL: IMPACTO DEL CONFINAMIENTO DE 2020 EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS CIUDADES DE ASTURIAS

RESUMEN EN ESPAÑOL: La calidad del aire de las ciudades es un tema de actualidad y debate político. Durante el año 2020 se vivió un confinamiento total a raíz de la pandemia del COVID-19 que restringió la movilidad de todas las personas. ¿Se redujo la contaminación que normalmente se asocia al elevado tráfico de las ciudades durante este periodo? Este trabajo trata de responder a esa pregunta desde la óptica de las ciudades asturianas, así como fijar un límite en la eficacia de las políticas de restricción del tráfico.

TÍTULO EN INGLÉS: IMPACT OF THE 2020 LOCKDOWN ON THE AIR QUALITY OF CITIES OF ASTURIAS

RESUMEN EN INGLÉS: Air quality of cities is a current issue that generates political debate. In 2020 there was a lockdown due to the pandemic of COVID-19, that restricts mobility of all people. We usually connect pollution with high levels of traffic. Were levels of pollution reduced during this period? From the point of view of cities of Asturias, this thesis tries to answer that question, as well as setting a limit of efficacy to traffic reduction policies.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LA CALIDAD DEL AIRE COMO EXTERNALIDAD. ECONOMÍA PÚBLICA.....	6
2.1. CONCEPTO DE EXTERNALIDAD.....	6
2.2. SOLUCIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS A LAS EXTERNALIDADES	7
2.2.1. Soluciones privadas	8
2.2.2. Soluciones públicas.....	8
2.3. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS EXTERNALIDADES AL CASO DE LA CALIDAD DEL AIRE	9
3. OVIEDO, GIJÓN Y AVILÉS COMO MUESTRA DE ASTURIAS. ECONOMÍA URBANA.....	10
4. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ASTURIAS.....	12
4.1. PRIMERAS CONSIDERACIONES Y DATOS DISPONIBLES	12
4.2. OVIEDO: PLAZA DE TOROS Y CAMPUS DEL CRISTO	14
4.3. GIJÓN: PLAZA CASTILLA Y CAMPUS UNIVERSITARIO.....	14
4.4. AVILÉS: PLAZA GUITARRA Y AEROPUERTO	15
4.5 DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS	16
5. MODELOS PROPESTOS.....	20
5.1. PRIMER MODELO: NO ₂	20
5.2. SEGUNDO MODELO: CO.....	20
6. PRINCIPALES RESULTADOS	21
6.1. OVIEDO	21
6.1.1. NO ₂	21
6.1.2. CO	24
6.2. GIJÓN	26
6.2.1. NO ₂	27
6.2.2. CO	29
6.3. AVILÉS.....	31
6.3.1. NO ₂	31
6.3.2. CO	33
7. CONCLUSIONES	34
8. BIBLIOGRAFÍA.....	36

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire y la polución en las ciudades es un tema de notable actualidad. Cada vez existe más conciencia pública acerca de los problemas generados por la presencia de contaminantes en el aire de las ciudades, especialmente los relacionados con la salud. Por ejemplo, en 2018, se estima que hubo 54 mil muertes prematuras atribuidas al NO₂ en Europa (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA), 2020)

Asimismo, en numerosas ocasiones, la política ha tratado de convertir el problema de la contaminación en un pilar de las campañas electorales municipales. Sirvan como muestra, la regulación del tráfico en determinadas zonas y el establecimiento de zonas de bajas emisiones en el centro de las ciudades, así como las subvenciones y políticas de ayuda para mejorar la eficiencia energética de los automóviles, las viviendas y la industria. Como por ejemplo se puede comprobar en la ordenanza de movilidad sostenible del ayuntamiento de Madrid (AYUNTAMIENTO DE MADRID, 2022).

En este contexto, el mundo fue sacudido hace dos años por la emergencia sanitaria generada por la aparición del COVID-19. Durante los primeros meses, en España, al igual que en muchos países, se tomaron medidas extremas de restricción de movimientos y de la actividad económica. Un confinamiento total que duró dos meses e impedía realizar la mayoría de las acciones cotidianas, como salir a dar un simple paseo. Estas medidas tuvieron la intención de reducir de la manera más rápida posible los contagios y las tasas de mortalidad elevadas de las primeras olas del COVID-19, pero a su vez, al limitar los movimientos y la actividad económica, redujeron los niveles de contaminación en muchas ciudades (CHOSSIÈRE, y otros, 2021), (BRIZ-REDÓN, BELENGUER-SAPIÑA, & SERRANO-AROCA, 2021)

El objetivo principal de este trabajo es determinar cuál fue el impacto del confinamiento de marzo a mayo de 2020 en los niveles de NO₂ y CO en las ciudades de Asturias. Se tratará de establecer si existen evidencias estadísticas como para concluir que durante este periodo se produjo una reducción significativa de los niveles de estos dos contaminantes, así como cuál fue su magnitud en caso afirmativo.

En el trabajo se plantean modelos econométricos que pueden ayudar a explicar el fenómeno de la contaminación de las ciudades, utilizando datos proporcionados por estaciones de medición de calidad del aire de Asturias y datos de variables meteorológicas, que guardan gran relación con la presencia de contaminantes, como la temperatura, el viento o la presión atmosférica.

El interés principal de la Economía Ambiental para analizar la contaminación como un elemento económico se basa en el concepto de externalidad negativa. En consecuencia, en la Sección 2 de este trabajo, se analiza el concepto económico de externalidad, así como las posibles soluciones públicas y privadas propuestas teóricamente para solucionar o limitar un problema de este tipo. También se detallan los pasos que debería seguir la administración para diseñar políticas contra la contaminación basadas en restricciones al tráfico rodado.

En la Sección 3, se presenta el marco analítico constituido por las tres grandes ciudades asturianas (Oviedo, Gijón y Avilés) y se señalan algunas de sus características particulares.

En la Sección 4, se describen las fuentes de datos utilizadas que incluyen las condiciones meteorológicas recogidas en las bases de datos de la AEMET (2022) y los niveles de contaminantes reportados en la base de datos del Gobierno del Principado de Asturias. (2022)

El modelo empírico utilizado en este trabajo, por su parte, se presenta en la Sección 5. Dadas las limitaciones de los datos, se ha planteado un modelo independiente para cada una de las tres ciudades analizadas y los dos contaminantes considerados.

Los principales resultados de este trabajo, se exponen en la Sección 6. Estos resultados pueden ser un punto de referencia para el diseño de los objetivos de contaminación de posibles políticas medioambientales, ya que el periodo de confinamiento puede ser visto como un ensayo o “experimento” de una política extrema de reducción del tráfico. Los resultados podrían extrapolarse para establecer la reducción esperable de los niveles de contaminantes que podría conseguirse con una legislación, evidentemente, menos agresiva pero que limite la movilidad de los ciudadanos utilizando el transporte privado.

Para finalizar se expondrán los resultados de los distintos modelos propuestos, así como cuál ha sido el verdadero impacto del confinamiento y cuáles son las conclusiones que se pueden extraer de cara a la política urbana y ambiental del futuro en el área metropolitana de Asturias.

2. LA CALIDAD DEL AIRE COMO EXTERNALIDAD. ECONOMÍA PÚBLICA

2.1. CONCEPTO DE EXTERNALIDAD.

En la teoría microeconómica se estudian con detalle los denominados *fallos del mercado* que son esas situaciones en las que los mercados son incapaces de asignar eficientemente los recursos, en ocasiones porque no se cumplen alguno de los supuestos básicos de la competencia perfecta. Uno de los fallos de mercado más importantes es la existencia de externalidades, que se pueden definir como una situación en la que las funciones de utilidad de varios agentes económicos son interdependientes, de modo que el consumo o uso de un bien por parte de uno de ellos afecta a terceros no involucrados en la toma de decisiones. Este hecho contradice uno de los principios que utiliza la teoría del equilibrio general para demostrar la existencia de equilibrio, que es la independencia de las funciones de utilidad entre los distintos individuos. De acuerdo con Rosen (2005) “cuando una actividad de un agente (persona o empresa) influye directamente sobre el bienestar de otro de un modo que no aparece reflejado en los precios del mercado, el efecto recibe el nombre de externalidad (porque el comportamiento del agente afecta directamente al bienestar de otro agente que es *externo* a aquel).” A diferencia de lo que ocurre con los efectos que se transmiten a través de los precios, las externalidades influyen en la eficiencia económica, en unas ocasiones de manera positiva y en otras negativamente.

Cabe destacar varios aspectos importantes de las externalidades:

- Las externalidades tienen naturaleza recíproca. Un ejemplo clásico de externalidad es la existencia de un contaminador y un contaminado, pero, ateniéndose a la definición basada en la interdependencia de las funciones de utilidad, no siempre una externalidad supone la existencia de alguien que perjudica y un perjudicado, si no que existen agentes interdependientes.
- Las externalidades pueden ser positivas o negativas y el resultado depende únicamente de las preferencias de los agentes implicados y no del hecho en sí. Podemos pensar que, si en una comunidad de vecinos se permite poner música por la noche, la norma en sí conllevaría externalidades negativas, pero quizás a

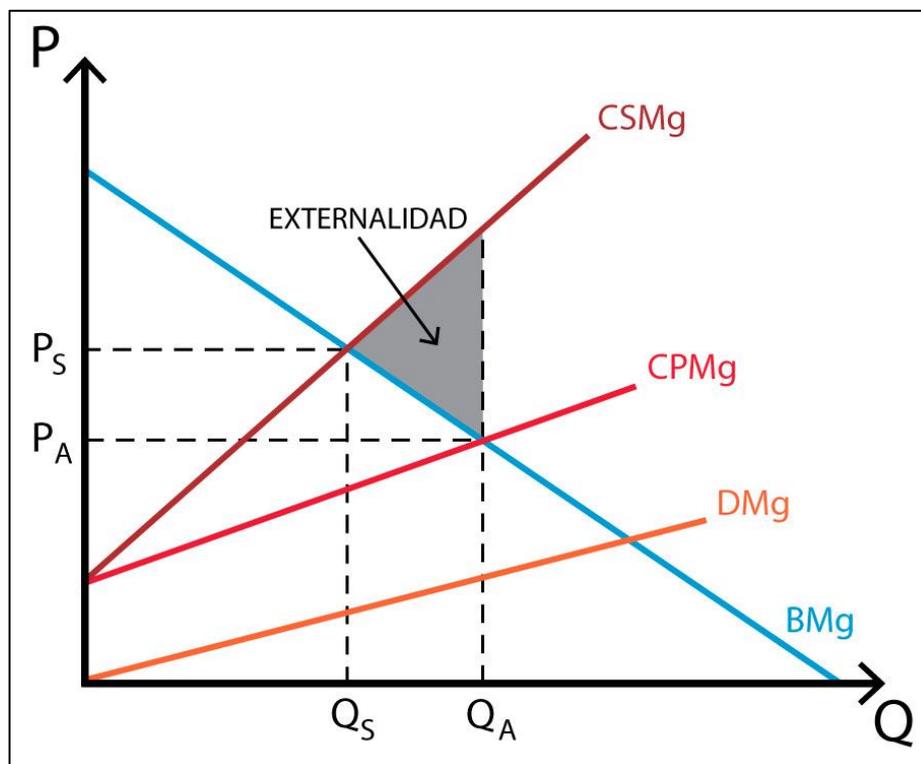
un vecino le guste poner una música determinada y que al otro vecino también disfrute de ella, en este caso tendríamos una externalidad positiva.

- Los bienes públicos pueden ser considerados como un tipo especial de externalidad. “Cuando una persona genera una externalidad positiva cuyo efecto es percibido por los demás de manera completa, la externalidad es un bien público, la frontera entre externalidad y bien público es borrosa” (ROSEN, 2005)(p.83)

2.2. SOLUCIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS A LAS EXTERNALIDADES

En la figura 2.1. se muestra un problema clásico de externalidades en las que se representa la producción de un determinado bien que produce a su vez un contaminante que afecta a población no implicada ni en la producción ni el consumo de dicho bien. Existe un beneficio marginal privado de la empresa que fabrica el bien, un coste marginal privado que asume la empresa en su cadena de producción, pero además existe un daño marginal del contaminante que afecta al resto de la población. Este daño marginal se suma al coste marginal para dar el coste marginal social de producir dicho bien, que sería el coste privado al que le hemos añadido el efecto de la externalidad. Es conocido que, en competencia perfecta, el coste marginal privado debería ser igual al coste marginal social, pero en el caso de las externalidades el mercado *falla*. En ausencia de regulación la empresa produciría según su coste marginal privado y terminaría produciendo una cantidad mayor a la óptima, socialmente hablando. Este hecho produce una pérdida de bienestar global representada por el área sombreada en gris que desde la teoría económica se ha tratado de resolver proponiendo diferentes soluciones.

Figura 2.1. Diagrama básico de análisis de una externalidad. Fuente: “Polieconomics/es/externalidad” (POLIECONOMICS, 2022)



2.2.1. Soluciones privadas

- **Negociación y teorema de Coase:** Coase afirma que el problema de las externalidades nace a raíz de una indefinición de los derechos de propiedad. Como no existe una definición de derecho de propiedad sobre el aire que respiramos aparece el conflicto entre el que quiere verter contaminantes al aire y la persona que quiere respirarlo sin la presencia de estos. El teorema de Coase afirma que una vez se repartan estos derechos, los agentes negociarán de forma que alcancen un acuerdo socialmente eficiente, en ausencia de costes de transacción. El problema de la solución de Coase es que no siempre es fácil asignar derechos de propiedad y en muchas ocasiones, como nuestro caso, tampoco sería fácil suponer bajos costes de transacción en las negociaciones, que se llevarían a cabo mediante complejos pactos políticos.
- **Fusiones:** Una forma de resolver el problema sería fusionar de alguna manera las personas implicadas en la externalidad, por ejemplo, si fueran dos empresas y se fusionaran ahora la decisión entre contaminar y no hacerlo sería una decisión interna a la empresa. Evidentemente, no es una solución factible para la mayoría de los casos.
- **Convenciones sociales:** Las personas no pueden fusionarse, pero sí que se establecen códigos de conducta que suavizan el efecto de algunas externalidades. Pueden ser principios morales básicos en función de una religión o ideología mayoritaria.

2.2.2. Soluciones públicas

Las soluciones más populares a las externalidades son aquellas en las que interviene el poder coactivo del sector público para dictar leyes y coordinar a los agentes de un territorio, siendo ésta una de las justificaciones económicas de la existencia del Estado. Algunas de las soluciones propuestas son:

- **Impuestos pigouvianos:** Si el objetivo es llegar a una asignación eficiente una forma de incorporar el daño marginal social a los costes privados de la empresa es a través de un impuesto de la misma cuantía. La recaudación podría utilizarse para compensar a los perjudicados por la externalidad. Esta medida plantea problemas de cálculo económico ya que una mala cuantificación podría agravar el problema
- **Subvenciones:** las subvenciones actuarían de forma que se subvencionara a la empresa por no producir unidades por encima del óptimo social. Pagar por no contaminar es una forma alternativa de elevar el coste de oportunidad de producción efectivo de la empresa. La situación plantea problemas similares al del impuesto pigouviano, pero sin obtener ingresos públicos.
- **Creación de mercado:** se trata de un mecanismo similar a la solución de negociación de Coase, pero organizado desde el Estado. El sector público establecería una cuota de derechos de contaminación para verter una cierta cantidad. Estos derechos serían comercializables y el mercado ajustaría el precio hasta alcanzar la eficiencia. La existencia de costes de transacción, el cálculo del nivel de contaminación de referencia y el posible comportamiento estratégico por parte de las empresas son algunos de los inconvenientes de esa solución.
- **Regulación:** La medida simple implicaría obligar mediante sanciones y leyes a reducir la contaminación de las empresas para que no se sobrepase la producción eficiente socialmente. Esta medida no produce ingresos públicos y también puede tener consecuencias negativas en caso de realizar cálculos

erróneos. Presenta dificultades cuando existen varias empresas de distinto tamaño en el mismo sector.

2.3. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS EXTERNALIDADES AL CASO DE LA CALIDAD DEL AIRE

El problema que estamos tratando consiste en analizar la presencia de ciertas sustancias contaminantes, concretamente NO₂ y CO, en el aire de las ciudades asturianas como una externalidad producida por los distintos agentes económicos, tanto empresas como consumidores, y la caída en sus niveles como consecuencia del confinamiento de 2020 asociado a la pandemia de Covid-19.

En una ciudad es de vital importancia la existencia de una red de tráfico que permita comunicar eficientemente los distintos distritos para aprovechar los aspectos positivos de las economías de aglomeración (Economía urbana). Sin embargo, la popularización del vehículo privado, así como su acceso a cada vez más porcentaje de la población genera problemas de congestión y contaminación. Los vehículos con motores de combustión interna expulsan gases nocivos como los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre o monóxido de carbono. Es popular unir a este problema las emisiones de gases de efecto invernadero, pero en nuestro caso de estudio los estamos obviando totalmente, ya que el dióxido de carbono o el metano, gases de efecto de invernadero, no tienen consecuencias directas en la calidad del aire ya que son inocuos para el ser humano y tienden a disiparse en la atmósfera. Su efecto sería la aceleración de un calentamiento global, el cual es un tema mucho más complejo al intervenir factores a nivel mundial y muy difícil de estudiar el impacto económico del mismo al afectar de diferente forma a países y continentes enteros. Por tanto, la diferencia entre contaminación ambiental y emisión de gases de efecto invernadero, que también constituye una externalidad, se escapa del estudio de este trabajo.

Las empresas de la industria pesada o las calefacciones de las viviendas también son fuente de estos gases contaminantes por lo que cabe destacar que no se debería poner únicamente el foco en la reducción del tráfico rodado, aunque están asociados principalmente a los niveles de SO₂ y CO₂. Por otra parte, es importante destacar que existen coches con motor de combustión de gas licuado, que no generan apenas este tipo de contaminantes por lo que su incentivación podría también ayudar a reducir este problema, además de los coches híbridos y eléctricos.

Se puede concluir que la calidad del aire en su conjunto es un problema de externalidades que implica a prácticamente todos los habitantes de una ciudad y que las soluciones deben estructurarse para cada sector en concreto. Dado que desde el punto de vista político-administrativo una de las formas más fáciles de actuar es a través de la regulación del tráfico, el estudio de esta externalidad se centrará principalmente en el uso de vehículos a motor de combustión, teniendo en cuenta que no son los únicos responsables.

De esta manera, el objetivo del trabajo es observar cómo durante un periodo de confinamiento total, en el que la movilidad de vehículos estaba totalmente restringida salvo por razones muy justificadas y de urgente necesidad, afectó a los niveles de la calidad del aire de las principales ciudades asturianas. Fundamentalmente, conoceremos el impacto que podría tener una medida drástica de prohibición de circulación de los vehículos a motor en las ciudades, y así contemplar cualquier otra medida que ayude a reducir como una aproximación de menor impacto a la del confinamiento. Por decirlo de otra forma, en este trabajo cuantificaremos una cota superior de la reducción de la contaminación que podrían tener este tipo de políticas.

Hay que señalar, también, que los efectos negativos de la calidad del aire son muy difíciles de cuantificar ya que su medición implica temas relacionados con la salud de las personas, que suponen estimaciones del coste en términos de años de vida, calidad de vida y salud través de métodos indirectos. Existen estudios que proponen métodos para complementar estas mediciones como el de (BORGE, WEEBERB , YAGÜE, JHUN, & KOUTRAKIS, 2019) consistente en analizar los cambios en la esperanza de vida de las distintas regiones en función de sus niveles de contaminación en los últimos 25 años. Asimismo, es difícil tomar decisiones sobre el tipo de regulación, impuestos o subvenciones, ya que resulta imposible calcular un nivel de producción óptima o, en este caso, volumen de tráfico óptimo. Las soluciones privadas también presentan grandes problemas de negociación al no poder definir derechos de propiedad sobre el aire de las ciudades. Las convenciones sociales pueden ser un mecanismo para generar una nueva mentalidad social que fomente la reducción del uso de los vehículos de manera voluntaria.

Por todas estas razones, no existe una solución simple al problema de las externalidades asociadas a la calidad del aire: Por ello cualquier medida que se tome debe ser gradual para evitar reducir el tráfico por debajo del óptimo, así como para asegurarse de que las medidas que se tomen sean finalmente eficaces.

En la siguiente sección se detalla por qué debemos centrarnos en tres ciudades para analizar el caso de Asturias en su conjunto, así como una introducción al análisis coste-beneficio que debería realizarse a la hora de plantear este tipo de políticas medioambientales.

3. OVIEDO, GIJÓN Y AVILÉS COMO MUESTRA DE ASTURIAS. ECONOMÍA URBANA.

La densidad de población en Asturias está muy desigualmente distribuida, destacando la presencia de ciudades de más de 50 000 habitantes en el centro que acumulan más de la mitad de la población. Este hecho se puede explicar desde el punto de vista de la economía regional a través la teoría de lugares centrales, en la que la aparición de economías de escala y la reducción de costes de transporte llevan a la aparición de estos sistemas de ciudades que se describen en Nourse. (1968)

El hecho de considerar las tres ciudades principales nos lleva a simplificar el estudio de Asturias fijándonos en al área en el que ocurre la mayor parte de la actividad económica, así como donde existen datos de mayor calidad.

Por otra parte, tras la aprobación de la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética (LEY 7/2021, 2021), se establece que las ciudades de más de 50 mil habitantes deberán establecer zonas de bajas emisiones (ZBE) a partir de 2023, por lo que resultan de especial interés estudiar Oviedo, Gijón y Avilés por ser, junto a Siero, las únicas ciudades de Asturias que superar este límite.¹

Este trabajo puede ser un punto de partida para el estudio de cómo se pueden establecer estas zonas y dónde sería más conveniente realizarlas. Cabe destacar que la última ordenanza del Ayuntamiento de Gijón limita el aparcamiento de determinados vehículos en zonas de la ciudad por lo que es un tema de bastante actualidad. Dado que el debate se ha considerado más político que puramente económico es conveniente repasar algunos puntos que debería seguir cualquier estudio de naturaleza urbana, que basa fundamentalmente, en un análisis coste-beneficio.

¹ El concejo de Siero también supera los 50 mil habitantes, pero ninguno de sus centros de población lo hace.

El análisis coste-beneficio permite que los políticos traten de imitar los mercados que funcionan bien; es decir que asignen recursos a un proyecto siempre que el beneficio marginal social sea superior al coste marginal social (ROSEN, 2005). Esta evaluación de costes y beneficios obliga a comparar costes y beneficios en distintos momentos del tiempo. Por ejemplo, una política medioambiental de reducción de circulación de vehículos tiene costes muy altos en el presente para los actuales usuarios, sin embargo, los beneficios se obtendrían probablemente en el futuro, en forma de mayor esperanza de vida o reducción del gasto sanitario en enfermedades del tipo respiratorias. Este es un ejemplo simple que cómo se requiere comparar corrientes de gastos y beneficios en diferentes. Simplificando diremos que un proyecto será beneficioso socialmente si

$$VA = \sum_{i=1}^{\infty} ((R_j - C_j) / (1 + r)^j) > 0 ,$$

donde R_j, C_j representan los beneficios y costes sociales esperados respectivamente en los diferentes años j . Este planteamiento tan simple requiere el conocimiento de la tasa de descuento social r , y las corrientes de beneficios futuros, por lo que introduce problemas de cálculo e incertidumbre. Por otra parte, los beneficios y costes sociales no son siempre fácilmente expresables en unidades monetarias, especialmente cuando tratamos el tema de la contaminación, en la que entran intangibles como la salud, el paisaje o la vida de las personas. Existen métodos basados en la utilización de precios y cantidades de bienes de mercado afectados por el impacto medioambiental, métodos indirectos de no mercado, basados en precios de mercado relacionados con los bienes ambientales y métodos directos de no mercado, soportados en la obtención de preferencias a través de cuestionarios (LABANDEIRA, LEÓN, & VÁZQUEZ, 2007)(Cap.5). Estos cálculos son la materia de estudio de una rama de la disciplina económica, "Economía ambiental" de gran sofisticación y complejidad estadística.

Para finalizar, además de la manifiesta dificultad de estos cálculos, existen muchas posibles manipulaciones a la hora de justificar un análisis coste-beneficio, como la elección del tipo de descuento social que puede dar menor o mayor importancia a las generaciones futuras, la llamada "trampas de las reacciones en cadena" que consiste en aumentar los beneficios a través de posibles beneficios de terceras empresas a los que beneficiaría dicha medida, por ejemplo, en este caso, sería atribuir como beneficio de la política medioambiental los beneficios de las empresas de venta de bicicletas o coches eléctricos. Este procedimiento no tiene en cuenta que el proyecto puede generar pérdidas en otras compañías como las gasolineras o los concesionarios de automóviles. También existen otras posibles "trampas" como hablar de la creación de empleo cuando los trabajadores son un coste más del proyecto, con su propio coste de oportunidad asociado; así como la *trampa* de doble contabilidad, en la que se afirma cómo se revaloriza un piso en el centro de una ciudad, a la vez que aumentan los alquileres. Un inversor no puede aprovechar la plusvalía y generar rentas simultáneamente por lo que se estaría contabilizando dos veces el mismo hecho.

Es reseñable que, aunque resulte muy complicado, realizar un análisis coste-beneficio de gran precisión sí que debe ser la base de la que parta cualquier estudio de política medioambiental pública, a pesar de que en muchas ocasiones se utilice la consigna reduccionista: "No se trata de dinero... se trata de normas sanitarias" (CUSHMAN, 1997)(p. 28), respuesta de una asesora del presidente Bill Clinton a objeciones acerca de los costes de la Ley de Aire Limpio de 1997 de Estados Unidos.

En las siguientes secciones se realizará un modelo econométrico que sirva de partida para analizar la posible eficacia de una política medioambiental de reducción de movilidad, basándonos en la política de confinamiento extrema a razón del COVID-19, que, aunque no tenía como objetivo la reducción de los contaminantes, sus efectos sí que pueden ser similares a las políticas de reducción de emisiones, siendo de alguna manera el límite superior de eficacia que estas políticas pueden alcanzar. En un posible

análisis coste-beneficio sería el primer paso para cuantificar la corriente de beneficios sociales futuros de la política.

4. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN ASTURIAS

4.1. PRIMERAS CONSIDERACIONES Y DATOS DISPONIBLES

La idea del trabajo es estudiar la evolución de los niveles de NO₂ y CO, como indicadores de la calidad del aire, en las tres principales ciudades asturianas durante los últimos años y ver el impacto que tuvo el primer gran confinamiento total de marzo de 2020 a raíz de la emergencia sanitaria del COVID-19.

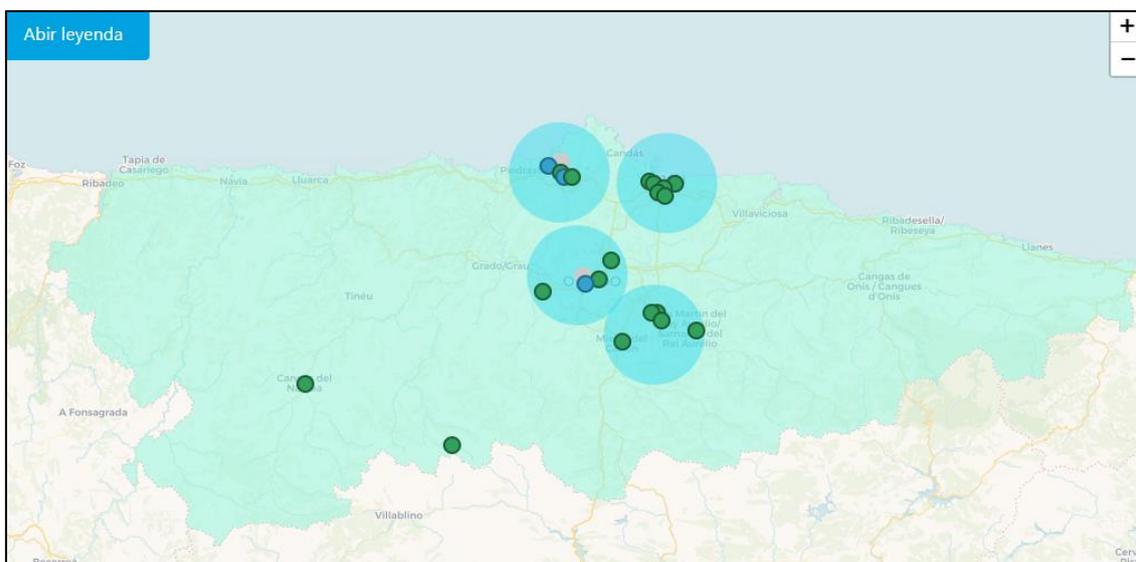
Para realizar este análisis partiremos de la consideración de que los datos de la calidad del aire están influenciados, fundamentalmente por dos tipos de variables, las variables temporales-estacionales y las variables meteorológicas. Considerar estos dos grupos de variables es un procedimiento muy utilizado para estudiar los determinantes de la contaminación ambiental. Si, además, se incorporan controles temporales asociados al periodo de confinamiento, se puede comprobar que la reducción de los contaminantes no se debe a causas meteorológicas favorables coincidentes en el tiempo. Es decir, las variables meteorológicas, y otros controles, se incluyen en las regresiones para poder extraer conclusiones de causalidad acerca de las políticas medioambientales independientemente de los efectos asociados a factores meteorológicos que influyen de manera determinante en la calidad del aire (SALAS, PEREZ-VILLADONIGA, PRIETO-RODRIGUEZ, & RUSSO, 2021).

De manera similar vemos cómo en el estudio del impacto de los cambios climáticos en España y su afectación a la salud en los últimos 25 años de Borge et al. (2019) se utilizan las siguientes variables: Temperatura (°C), velocidad del viento (*m/s*), presión atmosférica (hPa) y precipitación (mm) para ver cuál ha sido el efecto de estas variables en los principales contaminantes (NO_x, PM_{2.5}, NO₂, O₃,...) proponiendo un modelo con estas variables meteorológicas y dejando la opción que existan relaciones no lineales entre las variables meteorológicas y los niveles de contaminación tal y como han señalado Borge et al. (2019) o Roberts–Semple et al. (2012)

Basándonos en estos trabajos, queda clara la necesidad de recoger datos meteorológicos que correspondan al mismo lugar en el que se va a realizar el muestreo de la calidad del aire.

En primer lugar, los datos de la calidad del aire en las ciudades de Asturias vienen monitoreados en unas pocas localidades asturianas, recogidas en la web del Gobierno del Principado de Asturias y recopilados por la Sociedad asturiana de estudios económicos e industriales (Sadei). En esta página se recogen datos en diversas estaciones, fundamentalmente de Oviedo, Gijón, Avilés y las Cuencas. En la figura 4.1. pueden observar el mapa general de estaciones de medición de la calidad del aire de Asturias

Figura 4.1. Mapa de las estaciones de medición de la calidad del aire de Asturias.
Fuente: "asturaire.asturias.es" (GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, 2022)



En relación a los datos disponibles sobre las condiciones meteorológicas situadas en las mismas zonas que las estaciones de calidad del aire, una primera opción es recurrir a la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que dispone de estaciones en Gijón-Campus, Oviedo-El Cristo y Avilés-Aeropuerto. Aunque estas estaciones no estén situadas justamente al lado de cada uno de los puntos de medida de la contaminación, sí que están lo suficientemente cerca como para considerar los datos como suficientemente precisos para medir las condiciones ambientales bajo las que se realiza la medición de los niveles de contaminación, especialmente en el caso de Oviedo.

Otra opción que se planteó fue la de utilizar la base de datos de la asociación de meteorología "Noromet.org", pero se desestimó porque, aunque dispone de bastantes estaciones que podrían utilizarse para asignar a los distintos puntos de medida de contaminación una media ponderada de las condiciones meteorológicas, no había suficientes datos para poder comparar los periodos de antes y después del confinamiento con los del propio confinamiento, lo que dificulta el cumplimiento del objetivo básico de este trabajo.

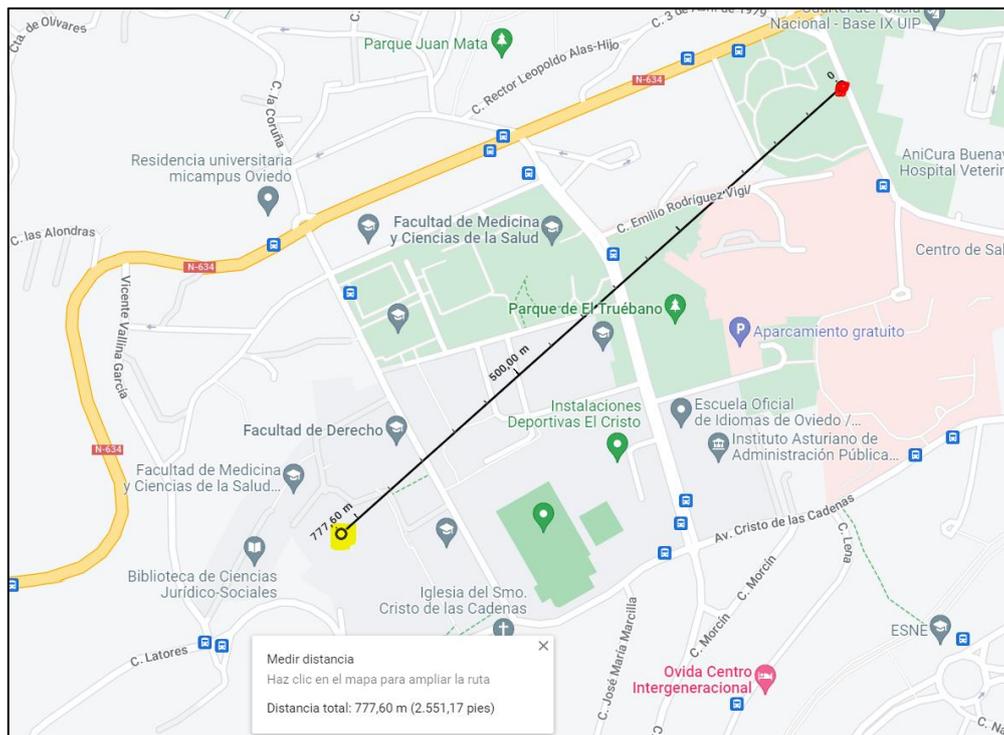
La última opción que se ponderó también fue la de utilizar un modelo climatológico a escala global como el copernicus.eu, disponible online y que ofrece datos a tiempo real de todo el mundo, pero se descartó ya que para el caso de Asturias es preferible tener datos a escala local, ya que los modelos globales cuentan con una baja resolución para ciudades muy cercanas.

Por tanto, los datos de la AEMET fueron los que finalmente se cruzaron con los datos de la calidad del aire en las ciudades asturianas. A continuación, se detallan los puntos de medición de calidad del aire y variables meteorológicas escogidas para cada ciudad y su distancia.

4.2. OVIEDO: PLAZA DE TOROS Y CAMPUS DEL CRISTO

Dentro de las opciones de datos aportados por la AEMET, en Oviedo sólo tenemos la estación meteorológica del Cristo, por lo que la elección de la estación de medición de la calidad del aire evidente por ser la más cercana es la estación situada en la Plaza de Toros, que dista menos de 800 metros en línea recta de la estación meteorológica, tal y como puede verse en la figura 4.2.

Figura 4.2. Distancia entre la estación de la AEMET de Oviedo-El Cristo y la de medición de la calidad del aire de la plaza de Toros. Fuente: "Google Maps"

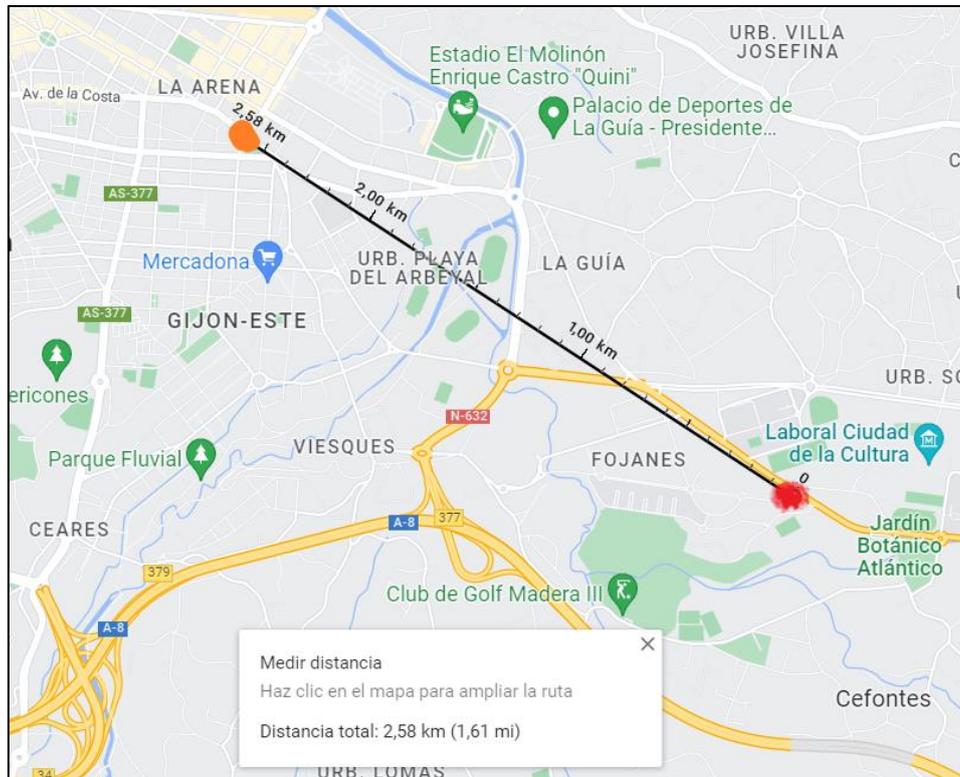


En este caso observamos como, dada la poca distancia existente, los datos meteorológicos reportados por la estación del Cristo serán prácticamente idénticos a los de la plaza de toros donde se toman las medidas de la calidad del aire. Dado que, como se verá en las siguientes secciones, esta distancia es la menor de las tres ciudades, Oviedo será la base sobre la que evaluaremos los resultados, incluidas Gijón y Avilés.

4.3. GIJÓN: PLAZA CASTILLA Y CAMPUS UNIVERSITARIO

En el caso de Gijón se disponen de dos estaciones de la AEMET, en el Puerto y en el Campus Universitario de Viesques, sin embargo, la estación del puerto no proporciona todos los datos necesarios para el análisis planteado en este trabajo, por lo que fue descartada. En consecuencia, la estación del campus universitario fue elegida para los datos meteorológicos y, una vez fijados estos datos, se seleccionó la estación de calidad del aire más cercana, que es la situada en la plaza Castilla, en el barrio de La Arena, a una distancia de 2600 metros del Campus.

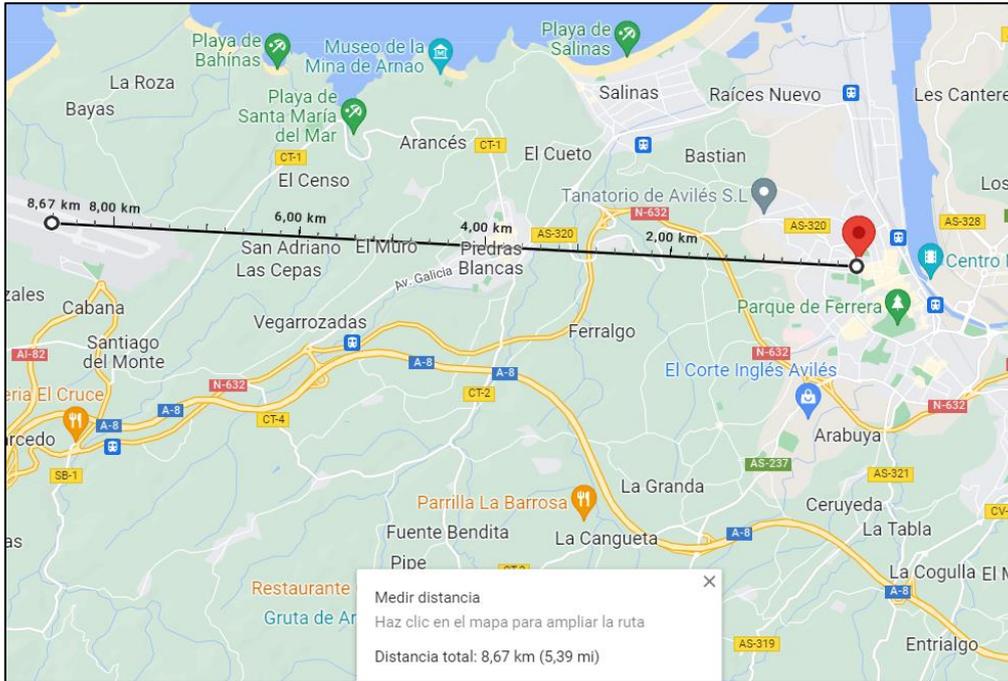
Figura 4.3. Distancia entre la estación de la AEMET de Gijón-Campus y la de medición de la calidad del aire de la Plaza Castilla. Fuente: "Google Maps"



4.4. AVILÉS: PLAZA GUITARRA Y AEROPUERTO

Finalmente, el caso de Avilés es el que más difícil resulta encontrar una estación meteorológica cercana a alguna de las que proporciona datos sobre la calidad del aire. De la red de AEMET, las estaciones más cercanas son las de Cabo Peñas y las del Aeropuerto de Asturias. Ambas se encuentran a distancia similares del centro de Avilés, sin embargo, la de Cabo Peñas se descartó debido a que no reporta datos de todas las variables disponibles en las otras estaciones meteorológicas consideradas. Por tanto, se han usado los datos meteorológicos del Aeropuerto de Asturias. Como estación de medición de calidad del aire se eligió la más céntrica y que proporciona mejor información sobre la calidad del aire en Avilés, situada en la Plaza de la Guitarra. De esta forma, los datos de los niveles de NO₂ y CO no estarán tan influenciados por la presencia de grandes industrias cercanas como los de las estaciones de Salinas o del Puerto de Avilés. De todas formas, el caso de Avilés será el que menos precisas resulten las mediciones meteorológicas ya que, como se observa en la figura 4.3, la distancia entre ambas estaciones es de 8.67 km.

Figura 4.4. Distancia entre la estación de la AEMET de Asturias-Aeropuerto y la de medición de la calidad del aire de la Plaza Guitarra de Avilés. Fuente: "Google Maps"



4.5 DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS

Tras haber justificado las estaciones de medida de calidad del aire y los datos meteorológicos que vamos a utilizar, se procede a detallar la lista de las variables de datos disponibles, así como su definición más precisa.

La estructura del conjunto de datos no será la de un modelo de panel sino de tres bases de datos diferenciadas con estructura temporal para cada ciudad. Esta decisión se toma en base a que los datos meteorológicos y de concentración de contaminantes están tomados en distintos puntos de las ciudades, con distintas distancias entre los dos tipos de estación, por lo que los datos pudieran no ser homologables para las tres ciudades simultáneamente. Las diferentes distancias podrían afectar a cuál es la dependencia de los contaminantes respecto a las variables explicativas meteorológicas en cada ciudad, por tanto, considerar un modelo de panel con todos los datos conjuntos no parece la hipótesis más adecuada, aunque parte del efecto podría venir recogido en el efecto fijo de ciudad. El trabajo se centrará en tomar los datos de Oviedo como referencia, ya que son los que presentan mayor calidad al estar las estaciones a menor distancia, y utilizar los resultados de Gijón y Avilés para validar la robustez de los mismos.

Las variables de datos que se utilizan son comunes para los 3 lugares descritos: Oviedo (Plaza de Toros-El Cristo), Gijón (Plaza Castilla-Campus) y Avilés (Plaza Guitarra-Aeropuerto).

El modelo también contará siempre con variables dicotómicas para cada mes y cada año del tipo

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = \text{año de la observación y } j = \text{mes de la observación} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Es decir, variables que toman el valor 1 para un mes de un año concreto y 0 en los demás casos. La introducción de estas variables nos permite controlar el factor temporal y estacional, que tiene importantes efectos sobre el comportamiento humano y que pueden influir en la emisión de contaminantes (uso de calefacción, vacaciones). Estos controles temporales capturan, también, los efectos asociados al paso del tiempo que, por ejemplo, lleva asociado una renovación del parque móvil y el cierre o modernización de fábricas, viviendas o locales, que afectan a los niveles de contaminación.

Además, se define una variable ficticia de *Confinamiento* que toma el valor 1 en los días del confinamiento total, que comenzó el 15 de marzo de 2020 y terminó el 10 de mayo de 2020 y cero en otro caso.

Asimismo, también se introduce la variable *Tintervalo* como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima, un dato fácil de interpretar y que resulta bastante importante en los modelos, los cuales incluirán la temperatura máxima y la variable intervalo, ya que si incluyéramos las tres estaríamos ante un caso de multicolinealidad perfecta.

$$T_{intervalo} = T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}$$

Adicionalmente, se introducirán variables de cualitativas para especificar la dirección del viento ya que el utilizar decenas de grados plantea el problema de la discontinuidad al utilizar tanto el 36 como 0 para referirnos a una misma dirección del viento. Es por esto por lo que se introducen las siguientes variables: Norte, Este, Sur y Oeste definidas de la siguiente manera:

$$Norte = \begin{cases} 1 & \text{si } Dir \in (31.5, 4.5] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

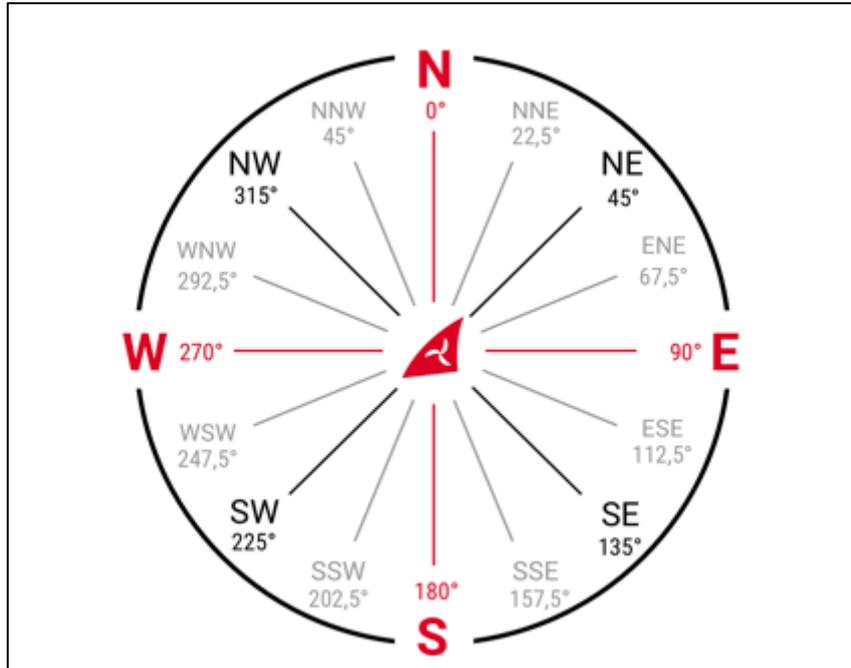
$$Este = \begin{cases} 1 & \text{si } Dir \in (4.5, 13.5] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$Sur = \begin{cases} 1 & \text{si } Dir \in (13.5, 22.5] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$Oeste = \begin{cases} 1 & \text{si } Dir \in (22.5, 31.5] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Es decir, se introducen variables dicotómicas que toman el valor 1 cuando la racha de viento sopla en una dirección dada y 0 en cualquier otro caso. Se han definido cuatro variables, dividiendo el cuadrante de la rosa de los vientos en cuatro direcciones posibles. En la figura 5.1 se observa cómo se corresponden los grados con las direcciones indicadas.

Figura 5.1. Rosa de los vientos con las direcciones indicadas en el sistema de referencia de grados sexagesimales. Fuente: "WindFinder.com" (WINDFINDER, 2022)



Por último, una vez introducidas estas variables de direcciones cardinales, se definieron las variables de interacción de la velocidad del viento con cada una de las direcciones:

$$RachaNorte = Racha * Norte$$

$$RachaSur = Racha * Sur$$

$$RachaEste = Racha * Este$$

$$RachaOeste = Racha * Oeste$$

De forma que las variables *Racha_Dirección* contienen información del valor de la velocidad de la racha de viento, así como la dirección de la misma, de modo que posteriormente podremos interpretar el coeficiente de la regresión cómo la influencia que tiene la dirección del viento, *ceteris paribus* la magnitud de la racha y el resto de las variables, sobre el valor del contaminante que estemos estudiando.

Para finalizar se muestran en el cuadro 4.1., la definición de todas las variables y sus estadísticos principales relativos a Oviedo, modelo de referencia.

Cuadro 4.1. Definición y estadísticos descriptivos

Variable	Media	Desv. Est.	Definición
NO ₂	21.48	11.81	Concentración de dióxido de nitrógeno en $\mu g / m^3$
CO	0.47	0.18	Concentración de monóxido de carbono en mg / m^3
Meses (D_{ij})			Conjunto de variable ficticias que toman el valor uno para un mes concreto y cero en el resto de casos
Sol	4.99	3.92	Insolación diaria en horas
Prec	3.35	7.68	Precipitación acumulada en todo el día en mm o litros por metro cuadrado.
Tmax	17.8	5.44	temperatura máxima alcanzada durante el día en °C
Tintervalo	8.16	3.02	Diferencia entre la temperatura máxima y mínima alcanzada durante el día en °C
PresMax	981	6.67	Presión máxima alcanzada durante el día en hPa
VelMedia	2.06	0.976	Velocidad media del viento durante el día en m/s
Racha	8.31	3.79	Velocidad de la racha de viento máxima alcanzada durante el día en m/s.
Dir	22.28	26.10	Dirección de la racha de viento alcanzada en decenas de grado, donde 0 grados indica Norte, 9 dirección Este, 18 dirección Sur y 27 dirección Oeste.
Norte			Toma el valor 1 si $Dir \in (31.5,4.5]$ y 0 en otro caso
Este			Toma el valor 1 si $Dir \in (4.5,13.5]$ y 0 en otro caso
Sur			Toma el valor 1 si $Dir \in (13.5,22.5]$ y 0 en otro caso
Oeste			Toma el valor 1 si $Dir \in (22.5,31.5]$ y 0 en otro caso
RachaNorte	2.74	3.86	Producto de las variables Racha y Norte
RachaEste	1.47	2.86	Producto de las variables Racha y Este
RachaSur	0.79	2.73	Producto de las variables Racha y Sur
RachaOeste	2.45	5.41	Producto de las variables Racha y Oeste
Confinamiento			Toma el valor 1 si el dato está entre el 15 de marzo y el 10 de mayo y 0 en caso contrario

Fuente: Gobierno del Principado de Asturias: "asturaire.astuias.es." (2022) y AEMET: "opendata.aemet.es" (AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2022)

5. MODELOS PROPESTOS

5.1. PRIMER MODELO: NO2

Siguiendo a Salas et al. se propone el siguiente modelo para explicar la concentración de NO₂, en el que se han incluido las variables cuadráticas de precipitación y presión máxima debido a su posible comportamiento no lineal.

$$\begin{aligned} NO_2 = & \beta_0 + \beta_1 Sol + \beta_2 VelMedia \\ & + (\beta_3 + \beta_4 * Norte + \beta_5 * Este + \beta_6 * Sur + \beta_7 * Oeste) * Racha \\ & + \beta_8 PresMax + \beta_9 PresMax^2 + \beta_{10} Tmax + \beta_{11} Tintervalo \\ & + \beta_{12} Prec + \beta_{13} * Prec^2 + \sum_{i,j} \beta_{ij} D_{ij} + \gamma * Confinamiento + \epsilon_t \end{aligned}$$

Observar que γ es el coeficiente que captura el impacto del confinamiento en la concentración de NO₂.

En principio se espera que los coeficientes $\beta_1, \beta_8, \beta_{11}$ sean positivos ya que cuando existen grandes diferencias de temperaturas suele ser en días de altas presiones y baja nubosidad (alta insolación) y es esperable que en este tipo de días se tengan mayores concentraciones del contaminante. Se puede establecer el aforismo: "el anticiclón favorece la inversión y estimula la contaminación" (DE PEDRAZA, 1991)

Por otra parte, esperamos que los coeficientes β_2, β_3 sean negativos ya que a mayor velocidad del viento es esperable que las partículas contaminantes se dispersen y dejen de acumularse en la ciudad. (DE PEDRAZA, 1991)

Los coeficientes $\beta_4, \beta_5, \beta_6$ no tienen ningún signo esperado en principio, es una forma de corregir los posibles efectos diferenciales de las distintas direcciones del viento respecto a solo tener en cuenta la velocidad bruta del mismo.

Finalmente, los coeficientes relativos a los términos cuadráticos de las precipitación y presión en combinación con el valor de los lineales nos revelarán cómo son los tramos en los que la presión y la precipitación afectan positiva o negativamente y si es a ritmos crecientes o decrecientes.

5.2. SEGUNDO MODELO: CO

De manera análoga al caso anterior planteo el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} CO = & \beta_0 + \beta_1 Sol + \beta_2 Vel_{media} \\ & + (\beta_3 + \beta_4 * Norte + \beta_5 * Este + \beta_6 * Sur + \beta_7 * Oeste) * Racha \\ & + \beta_8 PresMax + \beta_9 PresMax^2 + \beta_{10} Tmax + \beta_{11} Tint + \beta_{12} Prec \\ & + \beta_{13} * Prec^2 + \sum_{i,j} \beta_{ij} D_{ij} + \gamma * Confinamiento + \epsilon_t \end{aligned}$$

Cabe destacar que se mantienen la inclusión de términos cuadráticos en la presión y precipitación que indicará si la dependencia de la concentración de CO es lineal o cuadrática, pudiendo existir tramos crecientes o decrecientes según los niveles de presión.

Al igual que para el contaminante NO₂, es esperable que el viento ayude a la disipación de los niveles de CO, de modo que los signos esperados de β_2, β_3 son negativos. En lo relativo a las horas de sol, la amplitud térmica y las altas presiones deberían favorecer el aumento de la concentración, de modo que se espera que los coeficientes $\beta_1, \beta_8, \beta_{11}$ sean positivos debido a que los días de sol y pocas nubes suelen imperar altas presiones y grandes amplitudes térmicas. Estas circunstancias dificultan la difusión de las partículas, y por tanto la acumulación de estas en la ciudad (DE PEDRAZA, 1991)

De existir efectos del confinamiento se esperaría que el coeficiente γ fuera negativo y estadísticamente significativo.

6. PRINCIPALES RESULTADOS

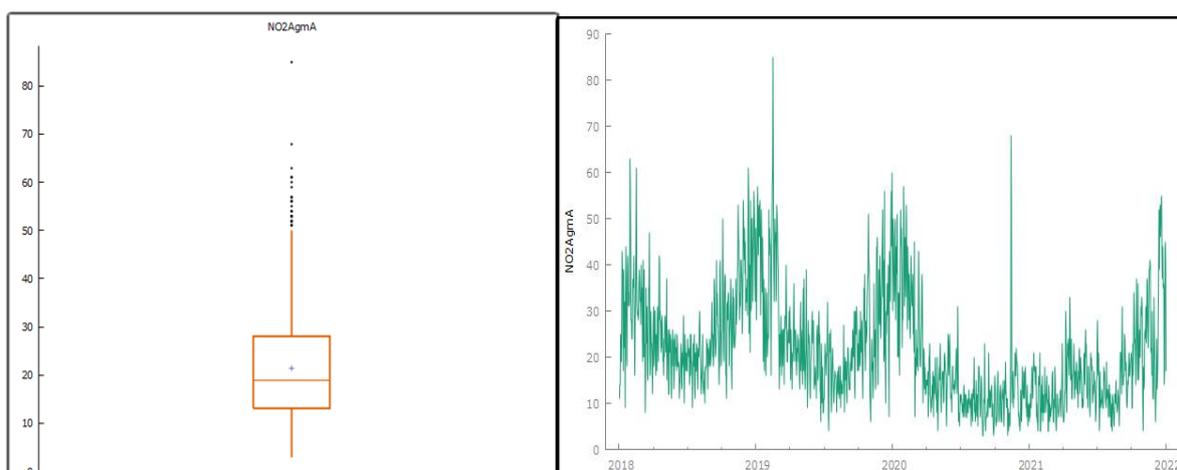
6.1. OVIEDO

Previamente al cálculo de la regresión del modelo, es conveniente realizar un resumen numérico y cualitativo de los datos relativos a Oviedo para ver aspectos básicos de la distribución como la media, la desviación típica y la evolución temporal.

6.1.1. NO₂

A continuación, se muestra un diagrama de cajas de la variable concentración de NO₂, así como de su gráfico de evolución temporal durante los 5 años analizados, en la que se puede prestar atención al periodo de 2020 de confinamiento.

Figura 6.1. Diagrama de cajas y gráfica de evolución temporal de la variable concentración de NO₂ en Oviedo-Plaza de Toros. Fuente: elaboración propia.



En la figura 6.1 observamos cómo los datos presentan una mediana de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ así como una desviación típica muy alta de $11.814 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta gran variabilidad implica que un análisis superficial sobre el efecto del confinamiento podría no ser válido. Se observa en el diagrama de cajas, la existencia de muchos valores extremos, llegando incluso al valor de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, más de 4 veces la mediana.

Si nos centramos en la gráfica de la derecha que recoge la evolución temporal, se observa la gran variabilidad de los datos a lo largo del tiempo, existiendo periodos de alta concentración y de baja concentración. Es cierto que durante el confinamiento parece mantenerse un periodo de baja concentración de NO_2 , pero esta observación no es suficientemente para cuantificar la magnitud del impacto de la caída en la movilidad y la actividad económica generada por el confinamiento en los niveles de NO_2 .

Los resultados de la aplicación del modelo propuesto en el apartado 5.1. para el NO_2 se presentan en el cuadro 6.1., donde se han omitido los coeficientes correspondientes las variables dicotómicas temporales D_{ij} que se han incluidos como controles.

Cuadro 6.1. Resultados de la regresión del Modelo 1 sobre NO_2 en Oviedo.

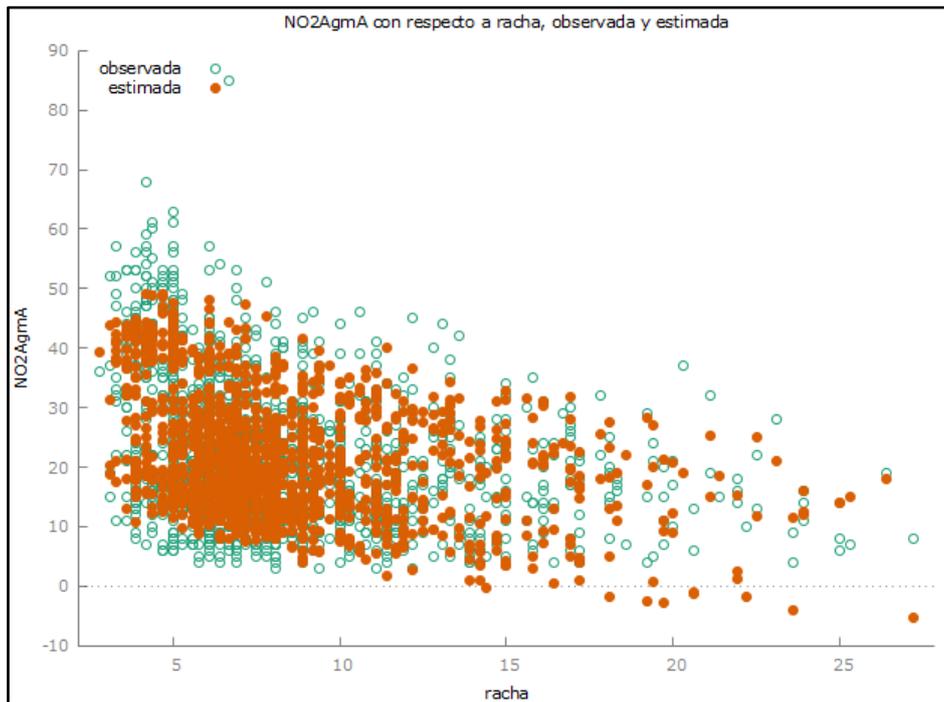
	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	1879.75	2604.73
Sol	-0.052	0.071
VelMedia	-1.230***	0.297
Racha	-1.187***	0.148
RachaNorte	0.190	0.128
RachaEste	0.267**	0.136
RachaSur	0.361***	0.136
RachaOeste	0.302**	0.124
PresMax	-3.717	5.324
PresMax^2	0.002	0.003
Tmax	0.017	0.071
Tintervalo	0.678***	0.106
Prec	-0.070	0.056
Prec^2	0.001	0.001
Confinamiento	-4.957***	1.735
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1411	
R^2	0.726090	
R^2 -aj	0.713704	
F(61, 1349)	58.62243	

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

En el cuadro 6.1, podemos observar que el ajuste del modelo ha permitido obtener un buen valor explicativo, con un R^2 de 0.7260. Asimismo, las variables *VelMedia*, *Racha* y *Tintervalo* resultan significativas al 1%, y muestran los signos esperados, siendo los dos primeros negativos y positivo el del intervalo de temperatura. Destaca la no significatividad de las variables relacionadas con la precipitación, que no presenta un buen ajuste cuadrático. Por otra parte, se observa que la temperatura máxima tampoco resulta significativa, siendo el intervalo de temperatura la variable realmente relevante, debido a que los días con mayor amplitud térmica son los que tienden a acumular contaminantes.

A modo de ejemplificar alguna de estas relaciones, podemos observar el gráfico de la figura 6.2. de la concentración de NO₂ respecto a la variable *Racha*, indicando los valores observados y estimados por el modelo, en la que se comprueba la clara dependencia negativa respecto a altas velocidades de *Racha*.

Figura 6.2. Gráfico de la concentración de NO₂ observada y estimada por el modelo frente a la variable *Racha*. Fuente: elaboración propia.



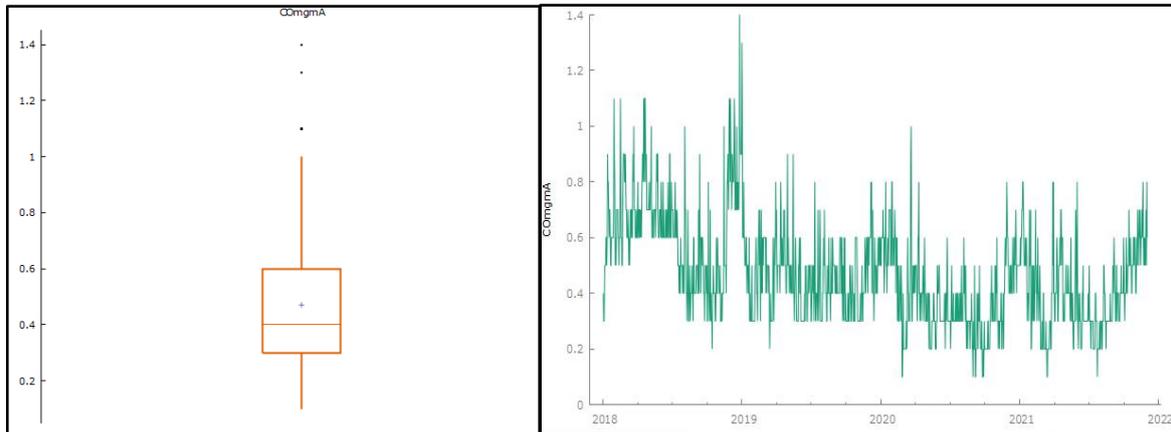
En lo que respecta a nuestra principal variable de interés, la influencia del confinamiento resulta significativa al 1%, lo que constituye evidencia empírica firme para rechazar la hipótesis nula de no influencia del confinamiento en la concentración de NO₂.

La cuantificación de este impacto se interpreta a través del valor del coeficiente del confinamiento $\gamma = -4.95741 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que indicaría que el valor esperado de la variable NO₂ durante el confinamiento es $4.95741 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menor al esperado sin él, es decir, el que se hubiera dado manteniendo constantes el resto de las variables. Esta reducción de $4.95741 \mu\text{g}/\text{m}^3$ podemos expresarla en términos relativos, comparándola con la media de la variable que es $21.44594 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como una reducción del 23,08%.

6.1.2. CO

A continuación, se mostrarán, como en el caso del NO₂, un diagrama de cajas y de evolución temporal de la variable concentración de CO en Oviedo en la figura 6.3.

Figura 6.3. Diagrama de cajas y gráfica de evolución temporal de la variable concentración de CO en Oviedo-Plaza de Toros. Fuente: elaboración propia



En este caso se observa una distribución algo más simétrica y con menos valores extremos que el caso del NO₂, así como una desviación típica mucho menor en relación con la media y la mediana. Podemos hablar de una distribución con menos variabilidad.

Si observamos la gráfica respecto al tiempo de la derecha de la figura 6. 3., también se contempla una distribución temporal con ciertos periodos de valores altos y valores bajos, presentando bastante variabilidad entre periodos. Si se observa el tiempo del confinamiento de 2020 se comprueba como en ese momento los niveles de CO estaban en niveles bajos, pero esta simple observación sigue sin ser suficiente para sacar conclusiones acerca de la relación de causalidad.

La aplicación del modelo propuesto en el apartado 5.2. para el CO lleva al siguiente resultado, mostrado en el cuadro 6.2., donde se han omitido los resultados correspondientes las variables dicotómicas temporales D_{ij} , de manera análoga al del NO₂.

Cuadro 6.2. Resultados de la regresión del Modelo 2 sobre CO en Oviedo

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	-135.95***	44.179
Sol	0.0025**	0.0012
VelMedia	-0.0141***	0.0050
Racha	-0.0168***	0.0025
RachaNorte	0.0042*	0.0021
RachaEste	0.0077***	0.0023
RachaSur	0.0029	0.0023
RachaOeste	0.0036*	0.0021
PresMax	0.2810***	0.0900
PresMax^2	-0.0001***	4.6e-05
Tmax	0.0005	0.0012
Tintervalo	0.0104***	0.0018
Prec	0.0010	0.0009
Prec^2	-1.60e-05	2.1e-05
Confinamiento	0.0652**	0.0293
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1380	
R ²	0.674844	
R ² -aj	0.660053	
F(60, 1319)	45.62521	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

En los resultados vemos como las variables *Tintervalo*, *VelMedia* y *Racha* también resultan muy significativas y tienen los coeficientes con los signos esperados, positivo para el caso del intervalo de temperatura y negativo para las relacionadas con la velocidad del viento. Por otra parte, vemos que el hecho de la que racha provenga de vientos del Este debilita la influencia del valor de racha máxima para reducir el valor de concentración de CO *ceteris paribus* el resto de las variables.

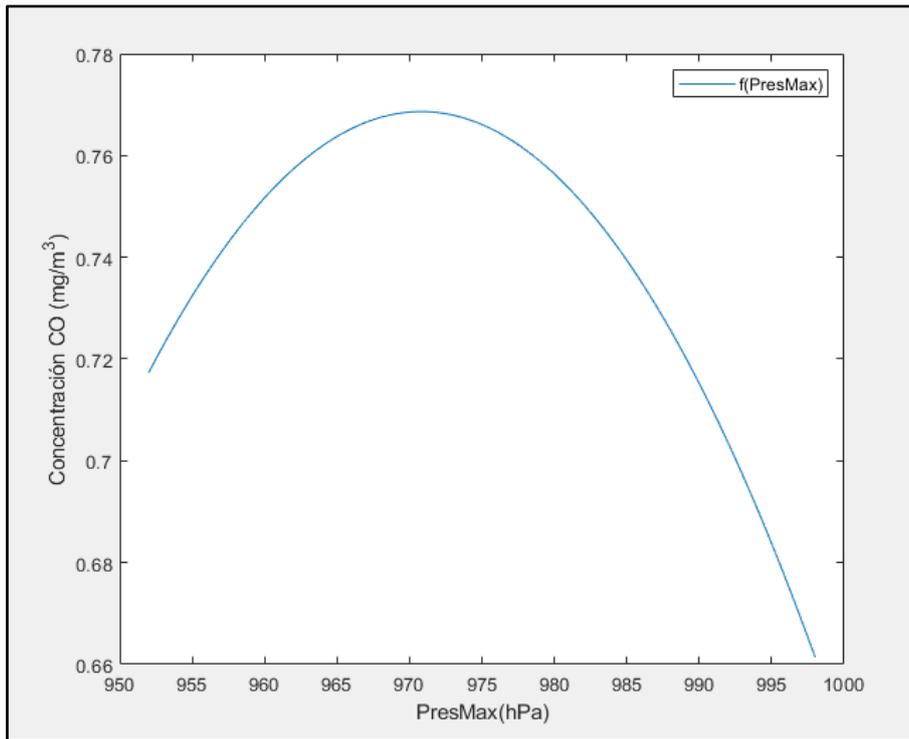
Para analizar la influencia de la presión debemos observar que el coeficiente del término lineal es positivo, mientras que el del término cuadrático es negativo y con un valor absoluto mucho menor. Esto indica el hecho descrito en el apartado 5.2. de que la presión máxima tiene correlación en la concentración de monóxido de carbono CO, pero de manera no lineal, ya que tendríamos una ecuación del tipo:

$$CO = CO(\text{resto de variables}) + \beta_1 + 0.281660PresMax - 0.00014506PresMax^2 \\ = CO(\text{resto de variables}) + f(PresMax)$$

$$f(PresMax) = -135.950 + 0.281660PresMax - 0.00014506PresMax^2$$

Si representamos la función $f(PresMax)$ en el intervalo (951,998), que son el mínimo y el máximo de la variable *PresMax* obtenemos la figura 6.4. en la que se observa que existe un valor máximo de Presión máxima a partir de la cual el efecto de la presión máxima sobre la variable CO deja de ser positivo pasando a ser negativo.

Figura 6.4 Gráfica de la función $f(\text{PresMax})$ en el intervalo (951,998). Fuente: elaboración propia.



Por otra parte, observamos como el coeficiente de la variable *Sol* es significativo y de signo es positivo tal como se había aventurado al formular el modelo sobre el CO.

Finalmente, el efecto estimado del confinamiento sobre los niveles de CO en Oviedo, nos lleva a un resultado en principio paradójico, ya que la concentración de monóxido de carbono aumentó de manera significativa, con un coeficiente $\gamma = 0.0652454 \text{ mg/m}^3 \geq 0$. Esto supone un incremento del 13,7% respecto a la media de la variable concentración de CO. Este hecho puede deberse a la menor relevancia que tiene el tráfico en la concentración de monóxido de carbono, especialmente desde que los motores con catalizadores han mejorado los procesos de combustión interna.

6.2. GIJÓN

En el siguiente cuadro 6.3. se muestra un resumen de los estadísticos principales de las variables explicativas para los datos tomados en Gijón, así como las variables que se explicarán con el modelo, la concentración de NO₂ y CO.

Cuadro 6.3. Estadísticos descriptivos para Gijón-Campus.

Variable	Media	D. T.
Sol	5.39	4.08
Prec	3.40	8.00
Tmax	18.7	4.64
Racha	8.64	3.44
PresMax	1020	7.06
VelMedia	2.12	0.877
Tintervalo	9.26	3.70
RachaNorte	3.70	4.28
RachaSur	0.550	2.23
RachaOeste	2.40	4.97
RachaEste	1.63	3.60
NO2	17.9	8.46
CO	0.362	0.145

Fuente: AEMET y Gobierno del Principado de Asturias: "asturaire.asturias.es."

6.2.1. NO2

Aplicando el modelo propuesto en el apartado 5.1., obtengo los siguientes resultados del cuadro 6.4. para los datos de Gijón (Plaza Castilla-Campus), en el que se han omitido las variables dicotómicas correspondientes a los distintos meses.

Cuadro 6.4. Resultados de la regresión del Modelo 1 sobre NO2 en Gijón

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	-6333***	2059.19
Sol	-0.346***	0.055
VelMedia	-0.857***	0.266
Racha	-0.478***	0.111
RachaNorte	-0.0147	0.084
RachaEste	0.493***	0.106
RachaSur	0.273***	0.087
RachaOeste	-0.338***	0.089
PresMax	12.624***	4.056
PresMax^2	-0.006***	0.002
Tmax	-0.0296	0.064
Tintervalo	0.673***	0.065
Prec	0.037	0.037
Prec^2	-0.001	0.001
Confinamiento	-7.170***	1.550
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1181	
R ²	0.677952	
R ² -aj	0.661304	
F(58, 1122)	40.72334	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

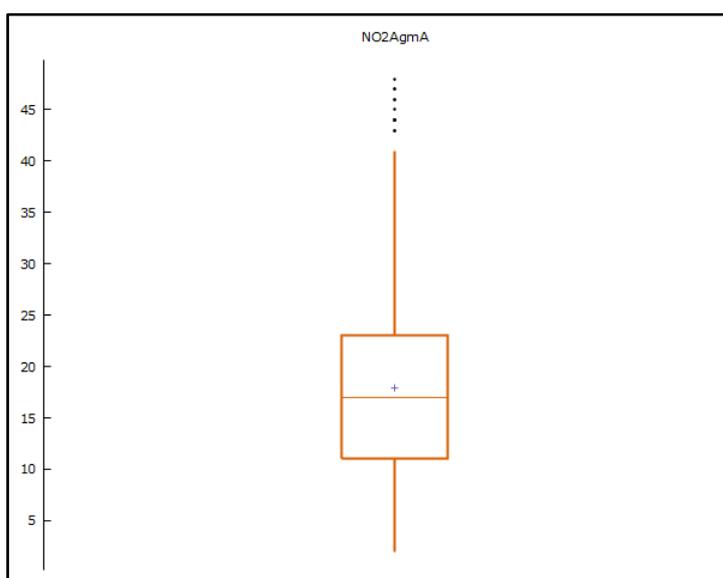
En los resultados observamos como todas las variables resultan significativas al 1% a excepción de *RachaNorte*, *Tmax* y las dos variables de precipitación, que al igual que en el modelo de Oviedo no resultaron significativas. Respecto a los signos de los coeficientes, se observa también que coinciden con los signos previstos para *Tintervalo*, *VelMedia* y *Racha*. Si comparamos la influencia de la dirección del viento respecto al caso de Oviedo, se observa cómo, en este caso, la existencia de rachas de viento máximo procedentes del Este ayuda mucho a reducir la concentración de NO₂. Este hecho concuerda con los resultados encontrados para Gijón, la cual concentra toda la zona industrial y de siderurgia pesada en la zona Oeste, por lo que es de esperar que vientos de Este ayuden a que las partículas generadas en estas factorías no lleguen a la parte Centro-Oeste donde hemos tomados los datos.

En el caso de Gijón destaca también la menor media de la variable NO₂, la cual es de 18.033 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los 21.445 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que teníamos en el caso de Oviedo. En el diagrama de cajas de la figura 6.5. se observa una distribución más simétrica y sin tantos valores extremos como los que existían en el caso de Oviedo.

Es importante destacar que la estación de Gijón está situada muy cerca de la costa y la presencia de contaminantes puede verse reducida por la continua brisa marítima por lo que realizar comparaciones entre ciudades de calidad del aire basándonos sólo en estos datos no resulta muy adecuado, pero sí podemos fijarnos en el impacto relativo del confinamiento en cada una de ellas.

La variable ficticia del confinamiento resulta muy relevante, con un nivel de significación muy inferior al 1% y un valor del coeficiente $\gamma = -7.17039 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que indica la fuerte reducción de la concentración de dióxido de nitrógeno sufrida en Gijón durante el confinamiento. Si lo comparamos respecto a la media de la variable de concentración de NO₂ nos encontraríamos ante una reducción del 37,89%, una cifra superior a la del caso ovetense.

Figura 6.5. Diagrama de cajas para la variable concentración de NO₂ en Gijón-Castilla. Fuente: Gobierno del Principado de Asturias: "asturaire.asturias.es."



6.2.2. CO.

A continuación, se muestran en el cuadro 6.5. los resultados de la aplicación del modelo de regresión a las observaciones de Gijón. De nuevo, se omitirán las variables dicotómicas de los diferentes meses.

Cuadro 6.5. Resultados de la regresión del Modelo 2 sobre CO en Gijón

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	-136.40***	35.50
Sol	-0.0040***	0.0009
VelMedia	-0.0064	0.0046
Racha	-0.0045**	0.0019
RachaNorte	-0.0021	0.0014
RachaEste	-0.0048***	0.0018
RachaSur	-0.0001	0.0015
RachaOeste	-0.0035**	0.0015
PresMax	0.2715***	0.0699
PresMax^2	-0.0001***	3.4e-05
Tmax	0.0054***	0.0011
Tintervalo	0.0070***	0.0011
Prec	-0.0003	0.0006
Prec^2	1.6e-08	1.1e-05
Confinamiento	-0.0439	0.0267
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1182	
R ²	0.690666	
R ² -aj	0.674690	
F(58, 1123)	43.23079	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

En lo que respecta al comportamiento general de la variable concentración de monóxido de carbono en la plaza Castilla de Gijón también se observa una media menor que en el caso de Oviedo, con un valor de 0.36 mg/m^3 frente a los 0.46 mg/m^3 de Oviedo. Para explicar esta diferencia debemos acudir a un argumento similar al que se razonó para el caso del NO₂, los datos de Gijón están tomados en una zona muy cercana a la línea de costa y por tanto hacer comparaciones entre ciudades tomando sólo datos de dos estaciones puede presentar sesgos que no se pueden abordar con los datos disponibles.

En los resultados del modelo, destaca que en este caso no resulta significativa la variable velocidad media del viento *VelMedia*. Otra diferencia importante es el signo de la variable *Sol* que en este caso es negativo al contrario de lo esperado por la teoría. Al igual que en el caso de Oviedo para la concentración de CO las variables de precipitación no resultan significativas, así como la temperatura máxima.

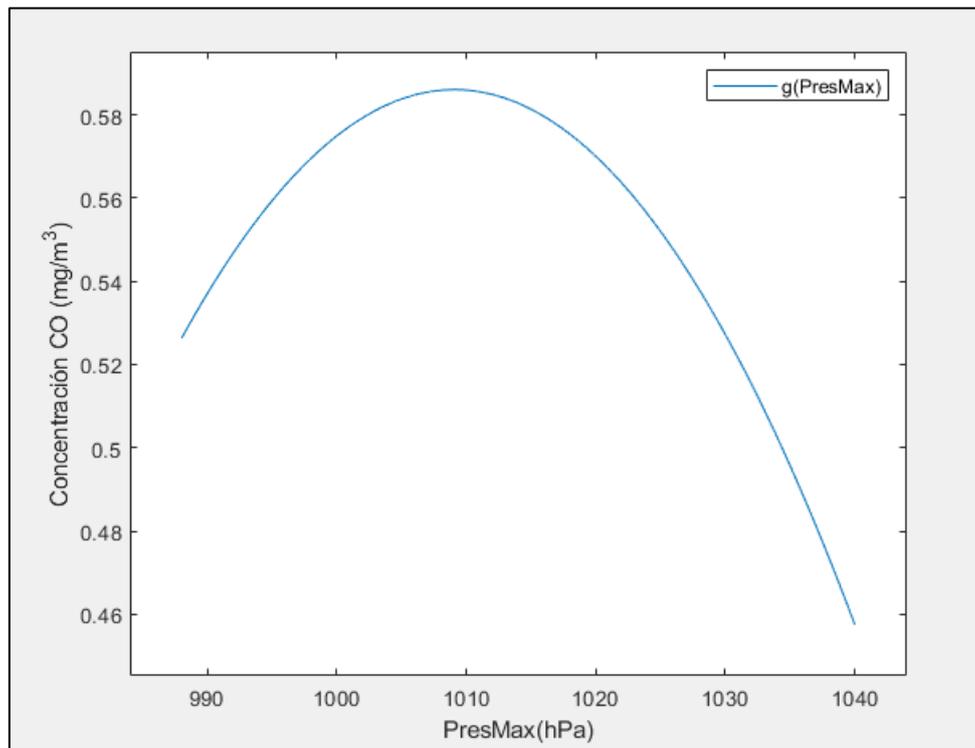
Es reseñable comentar también la influencia de la presión máxima en la concentración de CO, mostrando también en esta ciudad un comportamiento no lineal, creciente en un tramo y a ritmos decrecientes. Para compararlo con el caso de Oviedo, se representa en la figura 6.6. de manera análoga la influencia de la variable presión máxima a través de la función

$$g(\text{PresMax}) = -136.399 + 0.271506\text{PresMax} - 0.0003339047\text{PresMax}^2$$

en el intervalo (987,1040), valores mínimo y máximo de la variable PresMax en los datos del Campus de Gijón. En la que como en Oviedo se observa un tramo de influencia creciente y otro tramo de influencia decreciente.

Finalmente, en lo que respecta a las conclusiones del trabajo debemos fijarnos en que, en este caso, aunque el coeficiente del *Confinamiento* sí es negativo, esta variable no resulta estadísticamente significativa y, en consecuencia, no se puede rechazar la hipótesis nula de no influencia del confinamiento en la concentración de CO. Por tanto, se llega a un resultado distinto, pero con una conclusión similar al del caso de Oviedo: el confinamiento no ha supuesto una reducción de los niveles de monóxido de carbono en la ciudad de Gijón. Puede ser una evidencia más para pensar que la reducción del tráfico rodado no tiene mucha relevancia en la presencia del monóxido de carbono

Figura 6.6. Gráfica de la función $g(\text{PresMax})$ en el intervalo (987,1040). Fuente: elaboración propia.



6.3. AVILÉS

Tal como se detalló en la Sección 5 relativo a las características de los datos utilizados, los de Avilés son los que más problemas presentan debido a la lejanía entre los datos correspondientes a las variables meteorológicas procedentes de una estación del Aeropuerto de Asturias y los de contaminantes, tomados en el centro de la ciudad, en la plaza Guitarra, lo que supone una distancia entre ambas de más de 8 kilómetros. Por tanto, los resultados del modelo avilesino deberán ser tomados con más cautelas y pueden ser utilizados como prueba de robustez de los resultados anteriores.

A continuación, en el cuadro 6.6., los estadísticos principales de las variables explicativas y a explicar para el caso de Avilés:

Cuadro 6.6. Estadísticos descriptivos para Avilés

Variable	Media	D. T.
Sol	5.02	4.10
Prec	3.39	7.86
Tmax	17.7	4.38
Racha	11.0	4.83
PresMax	1010	6.94
VelMedia	3.65	1.83
Prec^2	73.3	325.
PresMax^2	1.01e+06	1.39e+04
Tintervalo	7.25	2.62
RachaNorte	0.357	2.06
RachaSur	1.25	3.11
RachaOeste	4.80	7.50
RachaEste	1.78	4.04
NO2	17.2	9.06
CO	0.571	0.221

Fuente: AEMET y Gobierno del Principado de Asturias: "asturaire.asturias.es."

6.3.1. NO2.

Aplicando el modelo 1 propuesto en el apartado 5.1., obtengo los siguientes resultados del cuadro 6.7. para los datos de Avilés (Plaza Guitarra-Aeropuerto), en el que se han omitido las variables dicotómicas correspondientes a los distintos meses D_{ij}

Cuadro 6.7. Resultados de la regresión del Modelo 1 sobre NO2 en Avilés

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	3984.2**	1999.6
Sol	-0.167***	0.044
VelMedia	-1.178***	0.129
Racha	-0.260***	0.067
RachaNorte	-0.011	0.069
RachaEste	0.143***	0.048
RachaSur	-0.114***	0.031
RachaOeste	0.172***	0.040
PresMax	-7.795*	3.985
PresMax^2	0.004*	0.001
Tmax	0.084	0.064
Tintervalo	0.957***	0.080
Prec	-0.103**	0.044
Prec^2	0.001	0.000
Confinamiento	-4.760***	1.328
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1422	
R ²	0.720928	
R ² -aj	0.708197	
F(62, 1359)	56.62444	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

En los resultados de Avilés volvemos a observar cómo las variables *VelMedia*, *Racha* y *Tintervalo* del modelo resultan significativas al 1%. Existe un valor superior a 0.70 del valor de R^2 corregido, valor similar en todas las regresiones que se han realizado.

Los coeficientes de las variables significativas también presentan los signos esperados, a excepción de la variable *Sol* que, en este caso, como en Gijón, influye negativamente en la cantidad de CO.

Respecto a la influencia de las rachas de viento destaca el signo positivo de la variable *RachaEste* que estaría indicando que cuando la racha máxima de viento procede de la dirección Este aumenta la concentración de NO₂, probablemente debido a la presencia de la industria siderúrgica en la zona oriental de la ciudad.

Respecto a la variable indicadora del *Confinamiento* tenemos que también resulta significativa al 1% y de signo negativo con valor $\gamma = -4.76088 \mu\text{g}/\text{m}^3$; un valor que representaría que el confinamiento habría acarreado una disminución de $4.76088 \mu\text{g}/\text{m}^3$; manteniendo constantes el resto de las variables. Esta disminución en términos relativos respecto al valor medio de la variable representa una disminución del 27.68%, una reducción menor que en Gijón y superior del caso de Oviedo. Los resultados de las 3 ciudades muestran conclusiones similares, evidenciando el impacto del confinamiento y mostrando reducciones de NO₂ del orden de entre el 20% y el 40%. Los resultados de la aplicación del modelo en Avilés permiten corroborar la hipótesis de fuerte influencia del confinamiento en la reducción de los niveles de NO₂ en Asturias.

6.3.2. CO.

Para terminar con los resultados de los modelos, se muestran en el cuadro 6.8. los resultados de la aplicación del modelo del apartado 5.2. para las observaciones relacionados con Avilés (Plaza Guitarra y Aeropuerto), de manera análoga a los casos anteriores omitiendo las variables dicotómicas relativas a los meses D_{ij} .

Cuadro 6.8. Resultados de la regresión del Modelo 2 sobre CO en Avilés

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>
Constante	-2.325	43.490
Sol	-0.0003	0.0009
VelMedia	-0.0101***	0.0028
Racha	-0.0046***	0.0014
RachaNorte	-0.0026*	0.0015
RachaEste	0.0008	0.0011
RachaSur	-0.0027***	0.0007
RachaOeste	-0.0003	0.0009
PresMax	0.0058	0.0867
PresMax^2	-3.2e-06	4.3e-05
Tmax	0.0141***	0.0014
Tintervalo	0.0054***	0.0017
Prec	-0.0001	0.0010
Prec^2	9.8e-06	2.1e-05
Confinamiento	-0.2214***	0.0289
Controles Mensuales	Incluidos	
N	1421	
R ²	0.777023	
R ² -aj	0.766843	
F(62, 1358)	76.32756	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Los resultados del modelo de la concentración de CO se muestran en Avilés bastante diferentes a los de Gijón y Oviedo, siendo la capacidad explicativa del modelo la más alta de los tres, con un valor de R^2 ajustado de 0.767, pese a que los datos de Avilés son los que más problemas pudieran tener, al haber cruzado datos meteorológicos tomados en el Aeropuerto con los datos de calidad del aire de una estación en el centro de la ciudad.

Sin embargo, varias variables no resultaron significativas en este caso, como la racha de viento del Este, las horas de sol o la presión atmosférica máxima. Por otra parte, se mantiene la gran significatividad de las variables *Tintervalo*, así como *VelMedia* y *Racha*

En lo que respecta a la variable de mayor interés en este trabajo, la caída en los niveles de CO asociada al confinamiento resulta significativa al 1%, por lo que, en el caso de Avilés, sí que habría tenido influencia el confinamiento en la reducción de la concentración de monóxido de carbono. Es importante mencionar que la media de los niveles de CO en Avilés durante el periodo analizado fue de 0.571 mg/m^3 , mucho mayor que el de Oviedo y Gijón, que tuvieron valores medios de 0.46 mg/m^3 y 0.36 mg/m^3 , respectivamente. Por tanto, al partir de niveles más altos de este contaminante, el efecto potencial del confinamiento también era mayor en Avilés, hallándose evidencia que permite afirmar que el confinamiento en esta ciudad se asocia con caídas mayores de

CO que en Gijón y Oviedo, concretamente, una reducción de 0.22 mg/m^3 , lo que corresponde a un descenso del 38.77% respecto a los valores medios de la concentración de CO.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo, en primer lugar, se analiza desde un punto de vista teórico por qué es interesante estudiar los niveles de contaminantes en el aire, basándonos en la teoría microeconómica de las externalidades. Se ha argumentado, también, que, para realizar políticas públicas dirigidas a eliminar o reducir este *fallo de mercado*, es fundamental la cuantificación del daño generado por esta externalidad. En el caso de la contaminación, la forma de cuantificar el daño social se puede realizar a través de mediciones usando métodos indirectos, lo que dificulta el análisis.

A continuación, se ha discutido cuál es la mejor estrategia empírica para medir los niveles de contaminación del aire en el caso de Asturias. Se ha tratado de justificar porqué, dados los datos disponibles, es conveniente estudiar de manera individualizada los casos de Oviedo, Gijón y Avilés, tomando como referencia Oviedo, por disponer de mayor calidad en los datos. En concreto, se han propuesto modelos basados en variables meteorológicas y controles temporales para explicar los niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO). Utilizando el impacto del confinamiento de 2020 debido a la pandemia de COVID-19, se evaluaron los efectos potenciales de una política urbana de restricción del tráfico, ya que durante ese periodo de casi dos meses los movimientos estuvieron muy restringidos. Para ello, se añadió como variable explicativa al modelo, una variable ficticia asociada a las observaciones pertenecientes al periodo de confinamiento. Esto nos ha permitido extraer conclusiones sobre el efecto del confinamiento y, lo que es más interesante, la eficacia máxima de una política que pudiera reducir el tráfico, que siempre sería menor que las caídas observadas debido a la política del confinamiento.

Los resultados del modelo de regresión para la concentración de NO₂ en Oviedo nos llevan a rechazar la hipótesis de no influencia del periodo, produciendo una reducción media de $4.95741 \mu\text{g/m}^3$, lo que en términos relativos respecto a la media de la variable supondría una reducción del 23.08%. Sin embargo, el modelo de la concentración de monóxido de carbono arroja un coeficiente inesperadamente positivo, pero con un nivel de significación menor. Parece que el confinamiento supuso un leve aumento de la concentración de CO del 13.86% en Oviedo. Este resultado nos lleva a afirmar que, en caso de CO, las políticas de reducción del tráfico pueden no llevar a reducir los niveles del mismo.

Los resultados de Gijón y Avilés sirven para corroborar el gran impacto que tuvo el confinamiento en la concentración de dióxido de nitrógeno, obteniendo en los dos casos valores de los coeficientes negativos y significativos al 1%, mostrando reducciones medias de $7.17 \mu\text{g/m}^3$ para Gijón y $4.76 \mu\text{g/m}^3$ para Avilés, que representan unas caídas porcentuales del 40.06% y del 27.68% respecto a sus medias respectivas. Estos números corroboran las conclusiones del primer modelo de Oviedo, mostrando reducciones significativas y de órdenes de magnitud similares, por lo que se podría concluir el fuerte impacto del confinamiento en la reducción de los niveles de NO₂ en las ciudades de Asturias; resultado similar al de otras regiones y países.

Por contra, los resultados de Gijón y Avilés para el CO no muestran patrones diáfanos. En el caso de Gijón, aunque el coeficiente estimado es negativo, éste no resulta estadísticamente significativo y no podemos concluir que hubiera una reducción de la cantidad de CO durante el confinamiento. Por lo que respecta a Avilés, sí que se estima

una reducción significativa de la concentración de monóxido de carbono, mostrando un nivel de significación inferior al 1%, y con una reducción de 0.22 mg/m^3 , equivalente a un 38.77%. Cabe destacar que esta reducción se produce en Avilés, que partía de un nivel medio de CO de 0.571 mg/m^3 , mucho más alto que los 0.471 mg/m^3 de Oviedo y los 0.362 mg/m^3 de Gijón, por lo que es posible que los resultados estén influidos las características especiales de Avilés.

No encontramos, por tanto, un patrón único para los cambios de los niveles de CO durante el confinamiento, ya que este contaminante aumentó en Oviedo, en Gijón no se modificó y en Avilés se redujo notablemente. Teniendo en cuenta que hemos utilizado de referencia es modelo estimado para Oviedo y que los resultados para Gijón y Avilés son estadísticamente diferentes, se puede afirmar que es dudoso que determinadas medidas generales de reducción del tráfico puedan ser convenientes para reducir los niveles de este contaminante.

Para finalizar, si se utilizaran los resultados obtenidos en este trabajo sobre el impacto del confinamiento en los niveles de contaminación de las ciudades como guía de futuras políticas, se puede afirmar que el límite máximo de las reducciones de NO₂ que se podrían conseguir con políticas de tráfico muy restrictivas sería del 40%. Por el contrario, para el CO los resultados de este tipo de políticas no resultan tan claros. En consecuencia, legislando únicamente desde el punto de vista del tráfico no se podrán nunca reducir al mínimo los niveles de todos los contaminantes simultáneamente, por lo que habría que analizar cuidadosamente cuál es la tasa de intercambio, o *trade-off*, entre la reducción del tráfico y la caída de la contaminación antes de decidir qué política aplicar.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET). (20 de 4 de 2022). *opendata.aemet.es*. Obtenido de <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
- AYUNTAMIENTO DE MADRID. (28 de 06 de 2022). *madrid.es*. Obtenido de <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Ordenanza-de-Movilidad-Sostenible>
- BORGE, R., WEEBERB, J., YAGÜE, C., JHUN, I., & KOUTRAKIS, P. (2019). Impact of weather changes on air quality and related mortality in Spain over a 25 year period [1993-2017]. *Environment International, Voumen 133, Part B*.
- BRIZ-REDÓN, Á., BELENGUER-SAPIÑA, C., & SERRANO-AROCA, Á. (2021). Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: A multi-city study. *Journal of Environmental Sciences, 101*, 16-26.
- CHOSSIÈRE, G., XU, H., DIXIT, Y., ISAACS, S., EASTHAM, S., ALLROGGEN, F., & BARRET, S. (2021). Air pollution impacts of COVID-19-related containment measures. *Science Advances, 7(21)*.
- CUSHMAN, J. H. (1997). *E.P.A. Head Adamant on Clean Air Rules*. New York Times, (June 1).
- DE PEDRAZA, L. G. (1991). La contaminación y el clima de Madrid. *Revista Tiempo y Clima, vol 3, no 14*, 76.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). (2020). Air Quality in Europe-2020. *EEA Report No. 9/2020*.
- GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS. (20 de 4 de 2022). *asturaire.asturias.es*. Obtenido de <https://asturaire.asturias.es/>
- LABANDEIRA, X., LEÓN, C., & VÁZQUEZ, M. (2007). *Economía ambiental*. Madrid: PRENTICE HALL.
- LEY 7/2021. (2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. "B.O.E.", núm 121, de 21/05/2021.
- NOURSE, H. O. (1968). *Economía Regional*. McGraw-Hill.
- POLIECONOMICS. (12 de 6 de 2022). Obtenido de "Polieconomics/es/externalidad"
- ROBERTS-SEMPLE, D., SONG, F., & GAO, Y. (2012). Seasonal characteristics of ambient nitrogen oxides and ground-level ozone in metropolitan notheastern New Jersey. *Atmospheric Pollution Research 3(2)*, 247-257.
- ROSEN, H. S. (2005). *Hacienda Pública*. McGraw-Hill.
- SALAS, R., PEREZ-VILLADONIGA, M., PRIETO-RODRIGUEZ, J., & RUSSO, A. (2021). Were traffic restrictions in Madrid effective at reducing NO2 levels? *Transportation Research Part D:Transport and Environment, Volume 91*.
- WINDFINDER. (14 de 6 de 2022). Obtenido de <https://es.windfinder.com/wind/windspeed.htm>

