

Impacte social de la ZBE (Zona de Baixes Emissions) de les rondes de Barcelona. Una anàlisi cost-benefici.

Alvar Garola, Bernat Arias i Gemma Vélez
Universitat Politècnica de Catalunya - GLLG, Gabinet d'Estudis Econòmics

ABSTRACT

L'any 2020 es va posar en marxa l'anomenada Zona de Baixes Emissions (ZBE) Rondes de Barcelona que limitava l'accés dels vehicles a l'espai central de la ciutat en base a criteris ambientals. En aquesta comunicació es planteja una anàlisi d'avaluació d'aquesta política en base a l'aplicació d'una Anàlisi Cost Benefici (ACB) que valori si, en termes de benestar, la ZBE ha estat positiva. Es pretén exposar com es pot aplicar aquesta metodologia a una política d'aquestes característiques, així com les seves limitacions, i obtenir uns resultats per quantificar l'impacte net que comporta sobre el benestar de la població la seva posada en funcionament.

Paraules clau: Zona Baixes Emissions, Avaluació, ACB, Valoració d'intangibles, Rendibilitat social.

Introducció

Aquesta comunicació té com a objectiu avaluar la rendibilitat social que representa la posada en marxa de la Zona de Baixes Emissions (ZBE) Rondes de Barcelona.⁴

La rendibilitat social fa referència a la valoració i quantificació de l'impacte net que comporta sobre el benestar de la població la posada en funcionament d'una determinada actuació; no s'avaluen per tant els aspectes financers d'aquesta actuació, sinó la seva rendibilitat en termes de benestar social sobre la població afectada.

S'ha optat per portar a terme una Anàlisi Cost Benefici (ACB), que es basa en comparar els beneficis que genera aquesta actuació amb els costos derivats de la seva instauració.

Es tracta d'un enfocament microeconòmic que reproduceix, a escala social, el comportament d'un agent racional a l'hora de comparar els avantatges i els desavantatges d'una acció econòmica (De Rus 2001).

Per fer-ho cal integrar tots els impactes que el projecte té sobre la societat, en forma de beneficis i costos socials valorats monetàriament, per estimar l'efecte resultant o el benefici social net del desenvolupament d'aquest. Aquesta

monetització és la base dels mètodes ACB, ja que és la unitat de compte que permet comparar beneficis i costos heterogenis.

Es tracta d'un criteri per prendre decisions col·lectives considerant les preferències individuals agregades, expressades econòmicament, bé per la disposició a pagar o bé pels costos evitats degut als efectes diferencials que previsiblement esdevindran.

Concepte de ZBE

Les emissions de gasos contaminants i la seva concentració a l'atmosfera han esdevingut un problema molt important pels seus efectes sobre la qualitat de l'aire, amenaçant considerablement la salut humana i els ecosistemes, així com pel seu impacte sobre el canvi climàtic.

La Comissió Europea dona suport als estats perquè prenguin les mesures pertinents, ha implementat iniciatives per augmentar la cooperació amb els estats membres en aquesta matèria i ha iniciat procediments d'infracció contra els estats membres que incompleixen els estàndards mínims de qualitat de l'aire.

Una de les mesures que s'han plantejat són les anomenades Zones de Baixes Emissions (ZBE), espais concrets on es restringeix l'accés i la circulació dels vehicles més contaminants per tal de reduir la pol·lució de l'aire de les ciutats.

Més de 200 ciutats europees han incorporar sistemes de ZBE de diferents característiques; algunes ciutats han instaurat altres mesures com són els peatges urbans, mesures restrictives puntuals en situacions d'emergència, carrers per vianants, etc.

Els objectius que vol aconseguir una ZBE són (MINISTERIO 2019):

- Impulsar l'eficiència energètica en l'ús dels mitjans de transport contribuint, entre d'altres a l'electrificació dels mitjans de transport.
- Contribuir a mitigar el canvi climàtic. Proposant actuacions que augmentin la resiliència de la ciutat davant els efectes de les alteracions climàtiques i els gasos d'efecte hivernacle.
- Millora la qualitat de l'aire a les ciutats i la salut dels ciutadans.
- Conscienciar la ciutadania sobre els problemes provocats per la contaminació atmosfèrica i el canvi climàtic.
- Anar cap a modes de transport més sostenibles que permetin recuperar els espais públics.
- Regenerar la ciutat promovent intervencions de caràcter estructural centrades en la xarxa viària i en l'espai públic.

El 20 de desembre del 2019 es va aprovar l'Ordenança reguladora de la ZBE de Barcelona com una estratègia per reduir de manera global i continuada les emissions contaminants. Es tracta d'una àrea de poc més de 95 km² on es restringeix la circulació dels vehicles més contaminants.

Engloba tot el terme municipal de Barcelona excepte la Zona Franca Industrial i els barris de Vallvidrera, Tibidabo i les Planes. També inclou els municipis de Sant Adrià del Besòs i l'Hospitalet de Llobregat i part dels municipis d'Esplugues de Llobregat i Cornellà de Llobregat. Tant el tronc central de la Ronda de Dalt com de la Ronda del Litoral estan excloses.

Aquesta és l'actuació que es valora en aquest informe. La ZBE es va activar al mes de gener de 2020 per a turismes, motos i ciclomotors

que no disposessin de distintiu ambiental de la DGT. A partir d'aquest moment quedava restringida l'entrada d'aquest tipus de vehicles dins de la ZBE.

Mètodes d'avaluació de polítiques públiques

Cada cop és més necessari argumentar la importància de proporcionar avaluacions econòmiques de les actuacions en matèria de mobilitat, especialment d'aquelles que comporten efectes de gran magnitud. (ALBALATE et al 2015)

Existeixen diverses tècniques i mètodes per avaluar els projectes relacionats amb la mobilitat. (MUNDA 2017a)

- *l'anàlisi multicriteri* que pretén integrar els diferents objectius d'una actuació en base a utilitzar indicadors normalitzats i que és molt dependent dels criteris d'experts (MUNDA 2017b)
- *l'anàlisi cost eficiència*, que compara diferents maneres d'obtenir un objectiu (en aquest cas la millora de la qualitat de l'aire), per obtenir aquella que comporta un cost unitari més baix, mètode que ha estat molt aplicat per avaluar programes de millora ambiental associades a l'àmbit del transport (SHAFIEI et al. 2017)
- **l'anàlisi Cost Benefici (ACB)**, que té per objectiu calcular i contraposar els beneficis i els costos de portar a terme una determinada inversió o política i que és el mètode que es segueix en aquest informe.

L'ACB ha esdevingut el mètode més utilitzat i és fonamental per promoure l'ús eficient dels recursos, tant en l'avaluació ex-ante (LLEONART et al 2001)⁶, amb anterioritat a l'inici del projec-

te, com ex-post, quan el projecte ja ha estat un temps en funcionament.

Tot i que el plantejament central de l'ACB és l'eficiència pel conjunt de la societat, de manera addicional també permet copsar la distribució d'impactes que es pot generar en tot projecte (SAURI et al 2021).

En definitiva, és un enfocament orientat a fomentar una presa de decisions que assoleixi el màxim benefici social amb els recursos disponibles i permeti prioritzar les propostes de despesa facilitant la utilització eficient dels recursos.

L'ACB consisteix en quantificar en termes monetaris els costos i els beneficis que comporta una determinada actuació sobre el conjunt de la societat i contraposar-los. L'enfocament de l'ACB és socioeconòmic en el sentit que tant els costos com els beneficis s'avaluen des d'un punt de vista dels interessos o la utilitat social.

L'anàlisi inclou tots els impactes sobre els agents afectats pel projecte, tot i que alguns d'ells no estiguin associats directament a transaccions en els mercats directament afectats per l'actuació (De RUS 2010) i no generin uns ingressos o unes despeses monetàries. Els costos i beneficis contemplats són tant interns com externs.

Sobre aquestes bases tot benefici o cost és tingut en compte en la mesura que repercuteix netament en algun dels components del benestar social.

És en el camp dels projectes d'inversió i especialment en el de les infraestructures del transport on l'ACB més s'ha desenvolupat.

La seva metodologia d'avaluació consisteix en

quantificar els impactes econòmics incrementals (o marginals) d'una actuació respecte a no fer-la o fer-ne d'altres, determinant així els beneficis i els costos que comporta respecte la situació alternativa establerta com a referència. L'alternativa de referència, o alternativa 0, consisteix en no efectuar cap actuació addicional i fer el mínim per mantenir la situació inicial o actual operativa. Per tant, el benefici és la diferència entre portar a terme una actuació o no fer-ho.

En aquesta metodologia, els beneficis, o efectes, fan referència a les conseqüències de la nova actuació i es deriven principalment del seu ús un cop ha estat posada en marxa. Per avaluar-los es monetitzen conceptes com el temps, els costos de funcionament dels vehicles o la seguretat, que afecten directament a les persones usuàries dels serveis proporcionats per la nova infraestructura, però també es té en compte el balanç mediambiental que es genera amb el seu ús. Aquests beneficis mediambientals no només afecten a les persones usuàries, però deriven directament de la seva utilització.

A l'actualitat no hi ha una única metodologia o llistat estructurat dels costos i beneficis inclosos en l'ACB que hagi estat adoptat per totes les institucions interessades o personal investigador, sinó que es poden identificar una multiplicitat. Tanmateix, això no significa que no es puguin detectar certes pautes i recurrències entre els diferents plantejaments existents.

A cadascun d'aquests efectes se li atorga un valor monetari, que pot anar variant al llarg del període analitzat. Alguns valors seran interns i altres externs, alguns seran fixos i altres variables, i alguns tindran preu de mercat i altres no, cosa que exigirà procedir a la seva estimació per a poder-los monetitzar i introduir-los en l'ACB.

La guia d'Anàlisi Cost Benefici de la Comissió Europea (SARTORI et al. 2014), per actuacions relacionades amb la mobilitat i transport recomana utilitzar les següents variables:

- Costos: Inversió (inclou tant les obres com l'adquisició del sòl, així com totes aquelles mesures de protecció ambiental que s'hagin d'incloure) i manteniment (tant ordinari com extraordinari).
- Beneficis: Estalvi de temps, estalvi en els costos d'operació de vehicles, reducció d'accidentalitat, variació en el soroll, variació de la contaminació de l'aire i variació en els gasos que produeixen canvi climàtic.

La pròpia guia especifica les metodologies per avaluar cadascuna d'aquestes variables basades o bé en els preus de mercat o bé en els anomenats preus ombra en el cas que no existeixin preus de mercat de referència (DORAMAS 2013).

Els preus ombra són indicadors expressats en valors monetaris dels valors de béns o serveis que:

- no tenen preu de mercat com el temps (de viatge), la seguretat (viària), la contaminació atmosfèrica, etc. En aquest cas, els preus ombra permeten traduir les quantitats en termes físics (temps, nombre de víctimes d'accidents, tones de contaminants, etc.) en valors monetaris mesurats amb una mateixa unitat i, per tant, susceptibles de ser agregats.
- no reflecteixen correctament el seu cost d'oportunitat social com els costos de construcció de les infraestructures i en especial els costos del treball associat; en aquest cas és habitual introduir factors correctors respecte els preus de mercat per aproximar el seu cost social.

La determinació d'aquests valors és una de les

qüestions fonamentals i recurrents de l'ACB.

La quantificació i homogeneïtzació dels beneficis i costos expressant-los en unitats monetàries a partir de preus de mercat o de preus ombra és un dels elements bàsics de l'ACB; d'una banda, aquesta monetització possibilita agregar els diferents efectes associats al projecte que s'està avaluant i obtenir un indicador sintètic del benestar que aporta a la societat i de la conveniència de portar-lo a terme; de l'altra, quan es realitza una anàlisi sistemàtica de totes les inversions dins d'un programa d'actuació, facilita establir un ordre de prioritat entre elles en funció dels recursos disponibles.

En el cas de Catalunya, el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, disposa d'una eina, el SAIT (Sistema d'Avaluació d'Infraestructures de Transport) que ha estat utilitzada en aquest treball, i que s'ha complementat amb altres metodologies i valors dels preus ombra utilitzats en els estudis per avaluar els costos socials i ambientals de la mobilitat de l'ATM, que també és una institució de referència en l'àmbit de la mobilitat a Catalunya (GAROLA et al. 2019).

Adicionalment, convé fer referència al *Handbook on the external costs of transport* de la Comissió Europea en la seva versió de 2019, és una publicació de referència a la UE (ESSEN et al. 2019).

Anàlisi Cost Benefici de la ZBE Rondes de Barcelona: Bases metodològiques

El *Ministerio para la transición energética y el reto demográfico*, va publicar unes directrius sobre la implantació de les ZBE (MINISTERIO 2019) on esmenta la conveniència d'efectuar una ACB que reflecteixi el valor i l'impacte econòmic per a la societat en conjunt de la seva po-

sada en marxa.

El model econòmic ha de comparar la situació base (l'escenari "no fer res") amb la situació esperada després de la implantació de la ZBE, i esmenta un primer llistat de beneficis i costos a considerar entre els que es troben:

Com a beneficis:

- Millora de la qualitat de l'aire i el soroll: monetització dels estalvis al sistema sanitari.
- Reducció de gasos amb efecte d'hivernacle: monetització dels recursos naturals preservats i de la mitigació d'efectes del canvi climàtic.
- Congestió del trànsit: monetització del temps recuperat, en termes productius.

Com a Costos:

- Costos d'implementació: planificació i infraestructura.
- Costos de funcionament: gestió i manteniment.
- Costos de renovació de vehicles.
- Costos de canvis de comportaments (per exemple derivats de rutes alternatives)
- Incentius i ajuts.

En la publicació d'aquestes directrius s'esmenten especialment els estudis portats a terme al Regne Unit a Southampton (RICARDO 2018) i Edimburg (MORTON et al. 2017).

En aquesta comunicació s'utilitza una metodologia que parteix del cas de Southampton, però també es faran servir altres casos com el de París (ATELIER PARAISIEN URBANISME 2012), Anvers (TML 2012) o Londres (WATKISS 2003).

S'ha utilitzat en tot moment un enfocament basat en el criteri de prudència, és a dir, introduir com a benefici només aquells factors o elements que puguin justificar-se de manera

adient, i en cas de dubte s'opta per opcions que vagin en favor del manteniment de la situació existent. És un enfocament habitual en aquest tipus d'anàlisi cost-benefici.

Finalment, tota aquesta ACB es sustenta en tota una sèrie d'hipòtesis sobre l'impacte de ZBE Rondes de Barcelona, en temes com la mobilitat, la renovació del parc de vehicles i els seus impactes sobre les emissions, etc.

La ZBE Rondes de Barcelona es va posar en marxa l'1 de gener del 2020, però va coincidir amb l'aparició de la pandèmia motivada per la COVID19, què va significar un tancament de les activitats a partir de març del 2020.

L'enfocament que s'ha fet en aquest treball és un enfocament *ex-ante*, s'ha partit de la situació de l'any 2019 i s'ha estimat quin seria l'escenari tant en el cas que s'hagués posat en marxa la ZBE, com en el cas que aquesta no s'hagués portat a terme. No s'ha tingut en compte l'impacte de la COVID19.

Les fases clàssiques d'una ACB són les següents: (GEE et al. 2010)

1. Especificació i valoració de les diferents alternatives
2. Identificació dels beneficis i costos
3. Quantificació dels beneficis i costos
4. Agregació dels beneficis i costos
5. Interpretació dels resultats i criteris de decisió

Per valorar els efectes de qualsevol de les actuacions que es projectin, s'ha de comparar l'alternativa considerada amb el que passaria en el cas que l'actuació no es fes, que és el que s'anomena alternativa de referència o alternativa base.

En aquest cas s'han considerat dos alternati-

ves:

- El que anomenarem ESCENARI ZBE, que es correspon a la posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona.
- El que anomenarem ESCENARI DE REFERÈNCIA, què fa referència a l'evolució que s'hagués produït sense l'establiment de la ZBE (DEFRA 2009).

Aquests dos escenaris s'han centrat en dues conseqüències.

- El canvi en la flota de vehicles, que s'aconsegueixi una modernització dels vehicles privats que afecti bàsicament als vehicles més antics
- La reducció de la mobilitat privada, és previsible que una part dels desplaçaments es traslladin al transport públic o deixin de fer-se, el que afectarà a la mobilitat.

Pel que fa al parc de vehicles, s'ha utilitzat una anàlisi prospectiu que estima l'evolució del parc de vehicles any per any des del 2017 fins el 2030, tant per l'ESCENARI ZBE com per l'ESCENARI DE REFERÈNCIA.

El model posa l'èmfasi en el procés d'adaptació que es va portar a terme entre el 2017 (quan s'anuncia la mesura) i el 2020 (quan ja està en marxa), i pels anys posteriors considera una renovació del parc en funció de la seva antiguitat.

En l'ESCENARI ZBE es considera que es produirà una renovació dels vehicles que no disposen dels distintius ambientals necessaris per accedir a la ZBE.

En canvi, en l'ESCENARI DE REFERÈNCIA, es manté el procés de renovació del parc en base a l'antiguitat dels vehicles i l'obtenció de les etiquetes d'accés a la ZBE.

Per tant, la gran diferència entre els dos escenaris es produeix en el període previ a la posada en marxa de la ZBE, i posteriorment aquestes diferències tendiran a reduir-se, ja que l'antiguitat del parc en l'ESCENARI REFERÈNCIA el 2020 serà més alta i també ho serà la renovació posterior.

És molt important aquesta hipòtesi, ja que l'anàlisi cost benefici exigeix definir un període d'anàlisi, que en aquest cas s'ha establert en 10 anys.

Ateses les hipòtesis de renovació de la flota l'any 2030, la distribució del parc de vehicles per tipus de propulsió serà pràcticament la mateixa tant amb ZBE com sense.

És una hipòtesi estàtica i molt conservadora, ja que considera que els avantatges de la ZBE són només temporals, i que la pròpia renovació del parc s'acabarà produint igualment a l'horitzó 2030.

Aquesta estimació tenia com a referència els diferents tipus de vehicles classificats en: autobús, camió, ciclomotor, moto, furgoneta, turisme, taxi i microcars. Per a cada tipus de vehicle s'han tingut en compte els diferents tipus de propulsió: Dièsel, Gasolina, Híbrid, Elèctric, etc.

S'ha d'insistir en que a partir de l'any 2020, el procés de renovació del parc de vehicles segueix el criteri de l'antiguitat. Cal fer una segona previsió, que és l'evolució de la circulació dins la ZBE Rondes de Barcelona.

Durant la darrera dècada la mobilitat, mesurada en vehicles-km, s'ha mantingut en uns nivells força estables. La dades del 2020 i 2021 estan condicionades per la COVID19.

L'ESCENARI DE REFERÈNCIA es basa en mantenir estable el nombre de vehicles-Km l'any 2019 durant el període 2020- 2030.

Pel que fa a l'ESCENARI ZBE, s'ha estimat una reducció de la mobilitat mesurada en vehicles-Km en un 2,8%. (BARCELONA REGIONAL 2019). La reducció de mobilitat és una hipòtesi considerada en els diferents tipus d'ACB aplicats a les zones de baixes emissions. Per estimar aquesta reducció de la mobilitat s'han utilitzat dades procedents de diferents enquestes (EMEF 2022, GESOP 2020), i és coherent amb altres ciutats que han impulsats accions similars.

Cal tenir en compte que la ZBE Rondes de Barcelona funciona de les 7 a les 20 hores en dies feiners. S'estima que en aquest període de temps circula un 84,3% del trànsit total. Per tant, els càlculs de l'Anàlisi Cost Benefici s'han realitzat sobre la base de 3.821.895.192 vehicles-km en el cas de l'ESCENARI REFERÈNCIA, i de 3.714.694.893 vehicles-km en el cas de l'ESCENARI ZBE.

En l'ACB s'han de detallar tots els efectes rellevants que el projecte provoca en els diferents agents socials.

El criteri de tria que s'utilitza habitualment és considerar tan sols aquells efectes que influeixen clarament en el resultat de l'anàlisi i deixar fora de l'estudi aquelles partides que només afecten marginalment el resultat final.

Els Costos fan referència als recursos utilitzats per la societat per posar en marxa i gestionar la nova activitat:

- Inversions necessàries per crear i desenvolupar la ZBE.
- Despeses de manteniment i gestió de la ZBE en el període d'anàlisi.

Els beneficis (o, de manera més general, els impactes) fan referència a les conseqüències

de posar en marxa l'actuació, s'han seleccionat estrictament els següents:

- Reducció de les emissions
- Impactes de substitució del automòbils afectats (intervé com a cost o benefici negatiu).

És una opció marcada pel principi de prudència. Es tracta de veure si la ZBE Rondes de Barcelona es justifica exclusivament amb els impactes ambientals que genera, ja que aquest és l'objectiu de la mesura. És una visió molt estricta que circumscriu la rendibilitat social de l'actuació als efectes més directes.

Per això, en l'anàlisi de sensibilitat s'inclouran altres impactes com poden ser:

- Reducció dels costos de la mobilitat
- Temps de viatge de les persones afectades
- Seguretat derivada dels canvis en la mobilitat.

Beneficis i costos de la ZBE Rondes de Barcelona

Pel que fa als **Costos** s'han considerat els següents:

Inversions necessàries per portar a terme l'actuació

La quantificació de la inversió s'ha obtingut a partir del conveni de col·laboració entre l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i la Generalitat de Catalunya per al desenvolupament d'actuacions dins dels eixos prioritaris 2, 4 i 6 del Programa Operatiu d'inversió en creixement i ocupació FEDER Catalunya 2014-2020.

Una part de les inversions de l'AMB pel desplegament de la ZBE Rondes de Barcelona han estat cofinançades pel programa FEDER CATA-

LUNYA 2014-2020.

Aquest projecte, aprovat amb una despesa subvencionable de 3.720.777,48 €, té l'objectiu d'accelerar el desplegament d'un sistema integral i intel·ligent de la gestió de la mobilitat a la ZBE Rondes de Barcelona. L'ajut FEDER ascendeix a 1.860.388,74 euros atorga fins el 80% del conjunt de l'operació a la ciutat de Barcelona.

Per tant, la xifra que s'ha utilitzat per determinar les inversions necessàries per posar en marxa la ZBE ha estat de 3.720.777,48€.

Costos de gestió i manteniment

Pel que fa a la gestió del servei, s'han utilitzat les dades dels estudis econòmics de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), sobre els costos de manteniment i gestió de la ZBE Rondes de Barcelona.

L'any 2021 la despesa en gestió i manteniment fou de 1.111.012 €, mentre el 2022 va ser de 1.103.733 €, per a la resta d'exercicis s'ha utilitzat la mitjana entre les dues quantitats que ha estat de 1.107.373 €.

S'ha treballar en euros constants, sense considerar els efectes de la inflació.

L'any 2021, la ZBE Rondes de Barcelona va generar altres depeses a l'administració en forma de mesures de renovació de flota, i de suport a la mobilitat elèctrica que ascendeixen a uns 900.000€. No s'han tingut en compte aquestes quantitats, ja que en un apartat posterior s'avaluaran els costos de renovació de la flota.

La posada en marxa d'aquesta zona comporta l'aparició de noves fonts d'ingressos que procedeixen de les taxes de registre i autorització per poder accedir tot i no disposar dels distintius corresponents, i per les taxes a pagar pels vehicles estrangers.

Les estimacions situen aquestes xifres en: 256.028 € per l'any 2020 (real), 564.871 € per l'any 2021 (real), 801.038 € per l'any 2022, 813.863 € pels anys 2023 i 2024 (estimació) i 759.768 € per l'any 2025. Aquestes són les dades que s'han utilitat en l'Anàlisi Cost Benefici. Pels anys posteriors al 2025 s'ha fet servir la mateixa xifra que pel 2025.

Les multes generades pels incompliments dels vehicles en aquest estudi s'ha decidit no tenir-les en compte, ja que no es tracta d'un benefici net generat per l'actuació, sinó d'una transferència.

Pel que fa al que anomenem **Beneficis** en aquest informe s'han tingut en compte els següents. Impacte ambiental: Pol·lució i canvi climàtic

Aquest ha de ser l'impacte més significatiu. La presència de contaminants en l'aire incideix en la salut de les persones, en els ecosistemes i en deteriorament d'edificacions, incidència que es pot conceptualitzar com costos de la pol·lució.

El **cost de la pol·lució** ve determinat per la pèrdua econòmica que genera l'impacte de certa dosi de contaminants sobre la salut humana (reducció esperança de vida), els ecosistemes (menor producció agrícola) i deteriorament d'edificacions (manteniment i reparacions).

Els contaminants contemplats en aquest estudi derivats de les emissions del transport són les micro-partícules (PM_{10} i $PM_{2.5}$), òxids de nitrogen (NO_x), i el monòxid de carboni (CO).

La quantitat emesa de cada un d'aquests contaminants s'ha obtingut a partir del règim de consum de combustible que depèn del tipus de vehicle. En aquest cas s'ha partit del MODEL BR (BARCELONA REGIONAL 2019) que ha estimat el nivell d'emissions dels vehicles classificats per tipus de vehicle (camió, autobús, turisme,

motocicleta, moto, furgoneta i taxi), cada tipus de propulsió (gasolina, dièsel, híbrid, elèctric...) i per cada tipus de distintiu (sense distintiu. Distintiu B, Distintiu C, Eco o ZERO).

Un cop obtinguts aquests nivells d'emissions s'ha calculat la mitjana ponderada en funció del nombre de kilòmetres que realitza cada tipus de vehicle.

Un cop obtinguda aquesta mitjana ponderada en grams/km, per obtenir el total d'emissions, el seu pas és multiplicar les emissions que genera cada tipus de vehicle pel nombre de km recorreguts.

$$E_{p10} = \sum_{x=1}^X e_{p10x} * KM_x$$

E_{p10} són les emissions de PM_{10}

e_{p10x} , les emissions unitàries en grams/km de la tipologia de vehicle X

KM_x , el nombre de vehicles-km de la tipologia de vehicle X

L'equació anterior mostra el càlcul de les emissions contaminants, en aquest cas de les micro-partícules PM_{10} . El mateix es fa per a la resta de contaminants.

Un cop obtinguda aquesta estimació, el benefici serà la diferència entre les emissions que s'haguessin produït en el cas de posar en marxa la ZBE menys les que s'haguessin produït en el cas que no es posés en marxa la ZBE. En el cas que la posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona generi una reducció d'emissions, aquesta és el benefici ambiental que es genera.

En els 4 productes contaminants analitzats s'ha observat una reducció de les emissions per km.

A més cal tenir en compte que l'ESCENARI ZBE comporta una reducció de la mobilitat respecte a l'ESCENARI REFERÈNCIA.

Un cop es disposa de les emissions en termes físics, el següent pas és passar-les a valors monetaris.

La monetització és un dels elements claus de l'ACB ja que és el factor que permet comparar els costos amb els beneficis de portar a terme una determinada actuació.

En aquest cas, la moneda s'utilitza com a **unitat de compte**, és a dir, per poder comparar elements heterogenis, com poden ser en aquest cas els costos d'inversió i manteniment de la ZBE, que estan valorats en euros, amb els beneficis d'una reducció d'emissions, que mesurem en termes físics.

En aquest treball s'han utilitzat com a referència les dades del *Handbook on the external costs of transport* en la seva versió del 2019; és la referència recomanada pels estudis Cost Benefici en l'àmbit de la Unió Europea.

En concret s'han utilitzat els preus ombra per a les àrees metropolitanes d'Espanya que s'obtenen d'aquesta publicació, els valors obtinguts corresponen als anys 2015, 2016 i 2017; els preus s'han actualitzat a l'any 2020 utilitzant com a deflactor l'IPC espanyol.

Els preus ombra utilitzats han estat els següents:

- Preu del NO_x , 8.730 €/tona.
- Preu del PM_{10} , 10.475 €/tona
- Preu de les $\text{PM}_{2,5}$, 357.396 €/tona
- Preu de les emissions de CO, 1.241 €/tona

Aquests valors corresponen a valors que reflecteixen els costos que ha d'assumir la societat a causa d'aquestes emissions, bàsicament en els

efectes sobre la salut humana que comporten un increment de despeses sanitàries i una disminució de l'esperança de vida.

Per tant, si es multiplica la reducció de contaminants originats per la ZBE Rondes de Barcelona pels valors monetaris s'obté com a resultat el benefici que genera en termes monetaris.

Pel que fa al **canvi climàtic**, aquest està provocat per les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH), com ara el diòxid de carboni (CO_2), l'òxid de nitrogen (N_2O) i el metà (CH_4); què provoquen una pujada de temperatures que comporta un impacte significatiu sobre el clima i la dinàmica de fenòmens meteorològics.

Per estimar els efectes de la posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona, s'ha aplicat el mateix mètode que en cas de la contaminació.

A partir de les dades d'emissions per tipus de vehicle que s'han obtingut del MODEL BR, s'han comparat les emissions de CO_2 en els dos escenaris.

Hi ha hagut una evolució de la mitjana ponderada de les emissions dels vehicles que circulen per la ZBE Rondes de Barcelona. En aquest cas, les diferències d'emissions per km són poc significatives, i el benefici en reducció de CO_2 procedeix bàsicament de la disminució del quilometratge.

Un cop obtinguda la dada en termes de tones, cal determinar al valor unitari o preu de la tona de CO_2 (€/tona) com a indicador del valor dels efectes negatius que comporten les altes concentracions d'aquest gas en el context actual per l'excés d'emissions.

S'han considerat diferents opcions de partida, que estimen valors alternatius. Una possibilitat és la utilització del preu del dret d'emissió d'una tona de CO_2 en el mercat d'emissions. Aques-

ta opció té l'avantatge que basa el càlcul en un preu de mercat, però aquesta referència no es pot utilitzar en un estudi dels efectes externs, ja que no reflecteix els costos interns i externs que produeix l'emissió d'aquest gas, sinó les polítiques dels països respecte la fixació de quotes i el comportament dels agents als mercats i, a més, està sotmès a grans fluctuacions.

Altres opcions consisteixen en les estimacions econòmiques respecte els costos socials que suposen les emissions de CO₂ a l'atmosfera en el context actual i en els anys a venir, a partir de l'estimació dels costos per tal d'assolir els objectius de limitar l'escalfament global a un determinat lílindar (normalment a 1,5 o 2 graus).

En aquest informe s'ha optat per utilitzar el valor de referència indicat al *Handbook on the external costs of transport*. D'aquesta manera es manté l'homogeneïtat respecte la resta d'emissions contaminants.

Aquesta publicació estima un cost mitjà a curt i mitjà termini de 100 €/tona (2016). Aquest valor de referència s'ha actualitzat aplicant la variació acumulada del IPC general a Espanya entre 2016 i 2020, el que dona com a resultat un valor de 104,39 €/tm.

Aquesta metodologia aplicada tant als gasos contaminants com als que provoquen efectes sobre el canvi climàtic permet fer una valoració en termes monetaris.

Aquesta monetització s'ha fet utilitzant valors recomanats per la Comissió Europea en les seves fonts oficials. En tot moment s'ha buscat utilitzar fonts oficials que s'utilitzen normalment en aquest tipus d'estudis, especialment en projectes europeus.

Impacte sobre el cost dels vehicles: Substitució del automòbils afectats

Una altra conseqüència a tenir en compte de la posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona és la necessitat que pot tenir una part dels vehicles que actualment circulen per aquesta àrea de ser reemplaçats per uns altres que compleixin amb la normativa d'accés. Son **costos de canvi de vehicles**.

Per estimar aquest cost, s'ha partit de l'estudi prospectiu de posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona (Barcelona Regional, 2019).

En aquest estudi es feia una anàlisi prospectiva de l'evolució del nombre de vehicles per distintius ambientals. Es partia de les dades del parc el 2017 i s'establien en tres escenaris.

- Un escenari tendencial, que correspondria a una situació sense ZBE
- Un escenari amb moratòria, que correspon a la implantació l'any 2020 de la ZBE, amb una moratòria temporal dels vehicles professionals (furgonetes, camions i autocars) i dels vehicles especials (vehicles de persones amb mobilitat reduïda, serveis d'emergències i serveis essencials).
- Un escenari sense moratòria, que correspon a la implantació l'any 2020 de la ZBE, per tot tipus de vehicle excepte els especials (vehicles de persones amb mobilitat reduïda, serveis d'emergències i serveis essencials).

S'ha considerat que els vehicles Pre-Euro, Euro I, Euro II queden exclosos de la nova ZBE Rondes de Barcelona. En el cas de turismes i furgonetes també queden exclosos els turismes EURO III que no són de gasolina. (Ajuntament de Barcelona)

Aquest percentatges s'han aplicat al Parc de Vehicles censats a Barcelona, que s'han obtingut del servei d'estadístiques de l'Ajuntament

de Barcelona.

No es produeix una renovació total dels vehicles que no poden circular per la ZBE Rondes de Barcelona. Això és degut a que molts dels vehicles que no compleixen amb la normativa de la ZBE tenen una utilització molt baixa, o es fan servir en hores en què la ZBE no està en vigor o fora de l'àmbit de la ZBE.

Mentre l'antiguitat mitjana del parc censat a l'Àrea Metropolitana de Barcelona és de 12,5 anys, l'antiguitat del parc circulant és de 8,1 anys. (RACC et al. 2017)

En el aquest informe s'ha considerat que entre l'any 2017 i el 2020 es renovarà el parc de vehicles en funció de l'escenari de moratòria de l'informe de Barcelona Regional abans esmentat, mentre que l'any 2021 es farà la renovació que marca l'escenari sense moratòria.

És a dir, es planteja que la renovació de vehicles comercials es faci amb un cert decalatge respecte als turismes.

La renovació es concentra en els anys entre el 2017 i el 2021; un cop passat aquest període inicial, la renovació de vehicles es farà d'acord a la seva antiguitat.

La previsió de Barcelona Regional fa referència a turismes, furgonetes i camions. En el cas de les motos s'ha fet una estimació utilitzant les mateixes hipòtesis que en el cas dels turismes.

Per tant, entre 2017 i 2021, es pot estimar que s'haurien renovat un 49% dels turismes que, en el moment que l'apliqués la normativa el 2020, no tindrien accés a la ZBE. Per la resta de vehicles el percentatge seria del 39% de les motos, un 83% de les furgonetes i un 94% dels vehicles pesants.

Es tracta d'uns percentatges elevats, ja que

s'han calculat sobre el parc de vehicles censats i no sobre el parc de vehicles en circulació. (ROMEN et al., 2022)

El següent pas es trobar el cost que representa el canvi d'aquests vehicles. S'ha seguit bàsicament la metodologia utilitzada en el cas de Southamptom si bé s'han fet algunes variacions per un criteri de prudència.

Es partia de la base que la substitució de vehicles provocada per la ZBE és un avançament d'una decisió que es prendria posteriorment. Per tant el cost es el de l'avançament de la seva adquisició.

El cost és la diferència entre el valor mitjà d'un vehicle menys el valor actual. Seguint la següent fórmula.

$$C = V_t - \frac{V_t}{(1 - r)^n}$$

On:

C és el cost del canvi de vehicle

V_t és el valor mitjà d'un vehicle nou

r és la taxa de descompte

n és el nombre d'any en què s'avança la decisió

El valor del vehicle s'ha obtingut a partir de les dades obtingudes de diverses fonts. Es tracta de valors sense IVA, com recomanen els manuals d'anàlisi cost-benefici.

En el cas dels turismes i motos s'han utilitzat les dades de l'Agència Tributaria sobre el valor mitjà d'un vehicle a efectes tributaris. (Agència Tributaria, 2022) Pel que fa a les furgonetes s'han obtingut en base a preus de les marques més representatives, i pel que fa als vehicles pesants s'han utilitzat dades en base al l'obser-

vatori de costos del transport del *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. (KS-NET, 2022) En tractar-se d'un àmbit urbà, s'han utilitzat com a referència els vehicles pesants de menys de 12 tones.

S'ha utilitzat com a taxa de descompte un 3%, que és el recomana l'administració catalana per analitzar l'impacte social de les actuacions que afectin a la mobilitat i el transport, seguint les recomanacions europees.

Pel que fa als anys d'avançament en la compra s'ha seguit el model Southampton, que el xifra en 2 anys. Aquestes són les hipòtesis que s'han utilitzat.

S'han utilitzat en tot moment valors corresponents a vehicles nous. Cal tenir en compte que una part de la substitució de vehicles que no compleixen l'ordenança de la ZBE Rondes de Barcelona es podria fer adquirint vehicles usats que compleixen la norma, el que reduiria el cost d'adquisició.

Tenint en compte aquest factors, els resultats que s'obtenen són:

- Cost de l'avançament de canvi de vehicles entre 2017 i 2020: 25.968.873 €
- Costos de l'avançament de canvi de vehicle el 2021: 19.012.337 €.

Aquestes són les xifres que s'utilitzaran en l'anàlisi cost benefici.

Agregació dels beneficis i costos

Els beneficis i els costos que genera o ocasiona un projecte durant la seva vida útil es produeixen en diferents moments (anys) i, per tant s'ha de fer una homogeneïtzació prèvia d'aquests valors, actualitzant al present el flux d'ingressos i costos que es generaran en cada un dels períodes futurs.

La següent fase consisteix en la seva agregació per l'obtenció d'indicadors sintètics dels efectes de l'actuació sobre el benestar social.

Dos elements fonamentals en aquest procés són el termini o horitzó temporal analitzat i la taxa social de descompte utilitzada.

El termini temporal fa referència al fet que s'ha d'acotar el temps durant el qual es produiran els beneficis i costos. Hi ha costos que es poden materialitzar abans de la posada en funcionament de la infraestructura com són la planificació i l'estudi del projecte, que s'inclouen a l'ACB, i d'altres que es produiran fora del rang de temps considerat i no s'imputaran a l'anàlisi.

El criteri més seguit per establir l'horitzó d'avaluació és establir un rang en funció de la vida útil dels actius necessaris per portar-les a terme.

En aquest cas s'ha definit un període de 10 anys, com als estudis de Southampton o Paris.

Val a dir que si la durada real de les inversions supera el període d'anàlisi s'està creant una plusvàlua en favor de l'actuació, ja que els actius seguiran funcionant.

La **taxa social de descompte** indica quin és el valor avui d'un valor generat en un moment futur, no s'ha confondre amb la inflació. L'ACB té l'objectiu d'avaluar els projectes sobre la base de valors presents (en aquest cas, amb el nivell de preus de 2019), pel que la inflació futura no s'inclou a l'anàlisi. La taxa de descompte reflecteix el cost de la substitució inter temporal dels recursos d'avui que es dediquen al projecte estudiat i que, per tant, no es poden destinar a d'altres usos, amb els beneficis (nets) futurs del projecte, ambdós valorats a preus actuals.

La forma habitual i la utilitzada en aquest informe d'introduir la taxa de descompte és una fórmula exponencial, que multiplica els beneficis i costos generats en cada moment per un factor de descompte

$$\frac{1}{(1+r)^t}$$

on r és la taxa de $(1+r)$ descompte social i t el nombre de períodes entre el moment present i la generació dels beneficis o costos futurs.

En aquest informe **s'utilitza una taxa de descompte del 3% en termes reals**. Aquest valor es pren a la franja baixa del rang recomanat per la Unió Europea (SARTORIO et al. 2014), per formar part d'un estat membre de la Unió Europea.

Això es fa mitjançant l'aplicació d'una taxa de descompte positiva (que disminueixi la importància del flux net de beneficis segons ens allunyem en el temps).

Instruments de presa de decisions en l'Anàlisi Cost Benefici

A partir de tots aquests elements s'obtenen tres indicadors de base financera aplicats a l'ACB que mostren amb una xifra numèrica els efectes globals sobre el benestar social: el VAN, la TIR i la RBC.

El Valor Actual Net (VAN) indica en termes monetaris el valor actual dels beneficis nets que es donen al llarg del període estudiat contraposats amb els costos inicials. El mètode d'actualització dels fluxos futurs que es produiran en un període llarg exigeixen la aplicació de la taxa de descompte.

On:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

I_0 : Inversió inicial del projecte

B_t : Beneficis del projecte en el període t

C_t : Costos del projecte en el període t

r : Taxa de descompte (cost d'oportunitat dels recursos)

n : Nombre d'anys pels que es fa l'anàlisi

Si el VAN és superior a 0 indica que el projecte és socialment rendible, ja que genera un flux de beneficis actualitzats que cobreix els costos, inclòs el cost social d'oportunitat dels recursos invertits.

La Taxa Interna de Rendibilitat (TIR) s'interpreta com el benefici net anual que reverteix a la societat per cada unitat de compte del valor invertida (euro, en aquest informe) durant el període de temps estudiat pel projecte o infraestructura. És evident que en el projecte es-

tudiat els beneficis no es concreten en fluxos monetaris sinó en efectes que, com l'estalvi de temps i les millores en seguretat, han estat monetitzats.

En la seva expressió matemàtica, la TIR es defineix com la taxa que iguala els costos i els beneficis del projecte expressats ambdós al moment present (és dir, és la taxa que implicaria un VAN de 0).

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TIR)^t}$$

Una TIR superior a la taxa de descompte (del 3% en aquest informe) significa que la taxa de rendibilitat del projecte és superior al seu cost social d'oportunitat: per cada euro d'inversió, s'obté un benefici net superior a la renúncia que suposa no poder destinar els recursos inicials dedicats al projecte estudiat a d'altres finalitats.

La TIR és un instrument clau a l'hora de definir la rendibilitat social d'un projecte d'inversió, perquè al ser una mesura relativa (a diferència del VAN, que es una mesura absoluta) facilita la comparació entre projectes alternatius i també amb el cost social dels recursos destinats.

La Ràtio de Beneficis respecte Costos (RBC) recull la relació entre els beneficis totals i els costos totals del projecte, tant el numerador com el denominador es calculen al seu valor present mitjançant una fórmula anàloga a la del VAN en funció de la taxa social de descompte, però en aquest cas es determina la ràtio dels

beneficis sobre els costos. La seva formulació matemàtica és:

$$RBC = \frac{VAN(Beneficis)}{VAN(Costos)} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

El RBC és una mesura del benefici total associat a cada euro de cost. Quan el RBC és superior a 1 significa que els beneficis del projecte són superiors als costos i per tant el projecte aporta un valor afegit a la societat. Un RBC menor que 1 significa el contrari.

Una diferència rellevant entre el primer indicador i els dos segons és que mentre el VAN és una mesura de magnitud absoluta del benefici net, la TIR i el RBC són mesures de magnituds relatives dels beneficis respecte els costos.

Tot i que el RBC i la TIR són mesures relatives dels beneficis del projecte, la informació que proporcionen no és exactament la mateixa: mentre la TIR expressa un benefici net anual amb relació a cada euro d'inversió, el RBC expressa el benefici total obtingut per cada euro de cost.

En conclusió, el VAN, la TIR i el RBC són indicadors que ens proporcionen una informació diferent i complementària respecte els guanys derivats del projecte. Es tracta d'indicadors que procedeixen de l'avaluació financera, per això, afegim l'adjectiu social, i parlem de VAN social, TIR social i RBC social.

Resultats de l'anàlisi cost-benefici de la ZBE Rondes de Barcelona

A partir de les consideracions que s'han fet en el capítol anterior, es presenten els resultats de l'anàlisi cost benefici que es sintetitzen en la Figura 1.

Figura 1 Anàlisi Cost Benefici de l'ESCENARI ZBE

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversió	-3.720.777										
Costos operacions i manteniment		-1.107.373	-1.111.012	-1.103.733	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373
Taxes de registre i autoritzacions		256.028	564.871	801.038	813.863	813.863	759.768	759.768	759.768	759.768	759.768
Nox		1.879.945	2.536.013	1.875.156	2.027.819	1.404.154	1.164.322	732.810	704.951	548.787	241.056
PM10		130.024	181.670	150.046	142.880	119.714	105.734	89.624	81.077	70.891	58.923
PM2.5		3.911.023	5.634.611	4.587.382	4.308.130	3.493.303	3.022.905	2.501.993	2.191.602	1.822.988	1.485.547
CO		9.438	13.734	10.531	9.656	7.574	6.277	4.895	4.050	3.144	2.221
CO2		2.343.105	2.573.202	2.552.196	2.636.844	2.577.796	2.620.862	2.582.824	2.623.733	2.534.672	2.420.377
Canvi vehicle		-25.968.873	-19.012.337								
FLUXOS PROJECTE	-3.720.777	-18.546.684	-8.619.246	8.872.616	8.831.820	7.309.031	6.572.497	5.564.542	5.257.809	4.632.877	3.860.520
VAN	12.643.175										
Taxa descompte	3%										
TIR	12%										
RBC	1,23										

Font: Elaboració pròpia.

Com es pot apreciar, els indicadors de rendibilitat social donen valors positius, tant pel que fa al VAN, que és positiu, a la TIR, que se situa en un 12%, molt per sobre de la taxa de descompte, i, finalment, el RBC que és més gran que 1.

És a dir, utilitzant una metodologia ACB estàndard, amb els valors recomanats per les guies europees, i en base als treballs tècnics desenvolupats al llarg del procés d'anàlisi i posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona s'arriba a la conclusió que es tracta d'una actuació positiva, en el sentit que els beneficis ambientals que genera compensen els costos de portar-la a terme. Per tant, generen un impacte net positiu sobre el benestar.

En tractar-se d'una anàlisi individual d'una actuació, no és pot comparar amb altres possibles usos dels recursos públics, i per tant la

única afirmació que es pot fer és que l'actuació és positiva en termes de benestar.

Tot i així, es pot esmentar una guia d'avaluació d'inversions promoguda pel Col·legi d'Enginyers de Camins de Catalunya, (COL·LEGI D'ENGINYERS DE CAMINS DE CATALUNYA, 2010) que definia com projectes amb rendibilitat social molt bona, i per tant preferents, tots aquells amb una TIR que fos més del doble de la taxa de descompte, fet que es dona en aquest cas.

Que el saldo global sigui positiu, no vol dir que ho sigui per tots els agents implicats ja que, a diferència al que succeeix amb la major part dels projectes que cerquen una rendibilitat social, on les inversions procedeixen bàsicament de fons públic i dels impostos dels contribuents, en aquesta actuació, la partida més important dels costos correspon a l'avançament

en el canvi de vehicles que no compleixen amb els requisits de la ZBE Rondes de Barcelona.

Són per tant costos privats que afecten als propietaris d'aquests vehicles. Es tracta d'un tema que sobrepassa l'àmbit d'aquest treball, però que cal tenir-ho en consideració per delimitar els seus efectes sobre determinats col·lectius.

Per analitzar en profunditat els efectes sobre la propietat, s'haurien de valorar actuacions complementàries, algunes de les quals estan ja en funcionament, com la millora del transport públic, els ajuts a la modernització de vehicles, les consideracions particulars per col·lectius professionals, etc.

Un cop obtingut els resultats dels dos escenaris, el següent pas és analitzar la incertesa. Per contemplar la incertesa dins l'ACB el mètode més habitual és realitzar el anàlisi de sensibilitat.

Amb l'anàlisi de sensibilitat primer es considera l'opció d'introduir elements addicionals en el model d'ACB. Després, l'opció que les variables més significatives emparades com inputs del model es desviïn del previst en base a certes hipòtesis deterministes, assumint un determinat rang de desviació.

L'objectiu és quantificar quin és l'impacte sobre la rendibilitat social d'aquests canvis, perme-

tent analitzar quins paràmetres tenen un major impacte sobre l'ACB, així com la robustesa dels resultats obtinguts.

Amb relació a la inclusió de factors addicionals que es poden veure afectats per la posada en marxa de la ZBE Rondes de Barcelona, es planteja analitzar els efectes de l'ESCENARI ZBE en factors com el consum de combustible, el temps de viatge i la seguretat.

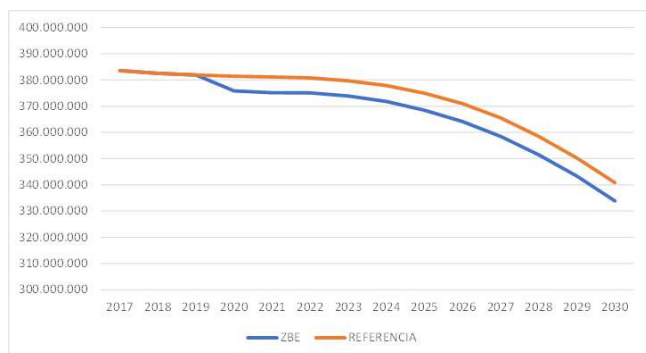
Pel que fa al consum de combustible comportarà dues conseqüències. D'una banda la reducció del nombre de kilòmetres que fan els vehicles que circulen a l'interior d'aquesta àrea, i d'una altra la modificació dels tipus de propulsió que comporta l'acceleració en la renovació del parc de vehicles que s'ha comentat en el capítol anterior.

Per tant s'ha partir de la distribució dels vehicles distribuïts per diferents tipus de propulsió.

En base a les dades d'un recent estudi de l'ATM (GABINET ESTUDIS ECONOMICS, 2019) sobre els costos de transport s'ha obtingut el rendiment (consum per km) de cada tipus de propulsió, i en base als preus de l'energia es pot calcular el cost per km per cada tipus de propulsió.

A partir d'aquesta xifra és pot calcular els costos de combustible als dos escenaris. Tal com es mostra en la Figura 2

Figura 2 Evolució del consum de combustible en els dos escenaris considerats



Font: Elaboració pròpia en base la MODEL BR, i l'estudi ATM.

El resultat és que el consum de combustible en el cas de l'ESCENARI ZBE s'estima menor que en l'ESCENARI REFERÈNCIA, en un valor que oscil·la entre els 5 i 6 milions d'euros anuals, i que és la suma de dos components: una disminució del nombre de kilòmetres que fan els vehicles dins la zona considerada, i la més accelerada renovació del parc de vehicles.

Pel que fa als dels costos (o beneficis) de la variació del temps de viatge temps i els accidents s'ha realitzat d'acord amb tres elements fonamentals: la reducció de viatges-km en vehicles afectats per la ZBE, un augment d'igual magnitud de viatges-km en transport públic i els diferencials dels costos unitaris del temps i dels accidents entre uns i altres modes de transport.

Els modes de transport públic inclosos són: autobús urbà (regular), metro, FGC, Tram, i Rodalies. Els modes privats són: turisme privat i motocicleta.

S'ha considerat que la disminució de vehicles-km (cotxes i motos) per la ZBE té associada una disminució dels viatges- km que correspon a un increment d'igual magnitud en els viatges-km del transport públic.

El nombre de viatges-km associat a la dismi-

nució dels vehicles-km per la ZBE s'ha estimat distribuint el nombre de vehicles-km entre cotxes i motos en funció de les xifres aportades obtingudes en el MODEL BR.

Per calcular la distribució, s'han exclòs els vehicles-km en cotxes i motos elèctriques, considerant que aquests no es veuran afectats per la ZBE. Així, s'ha estimat que el 78,3% de la reducció dels vehicles quilòmetres correspon als cotxes i el 21,7% restant a les motos.

En segon lloc, s'han estimat les ocupacions mitjanes dels cotxes i les motos amb *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2019* (ATM, 2019), aproximant unes ocupacions mitjanes de 1,24 persones/cotxe i de 1,07 persones/moto.

Finalment, multiplicant els vehicles-km en cotxes i motos per les ocupacions mitjanes respectives s'obtenen els viatges- km en cada mode.

L'increment dels viatges-km en transport públic per la ZBE es distribueix entre els diferents modes segons la mateixa distribució dels viatges-km estimada a la ciutat de Barcelona per l'any 2019.

Figura 3 Costos unitaris del temps de viatge

Mode de transport	Cost unitari temps 2017 (en €2019) €/viatge-km	Pes % viatges-km BCN 2019 %
Autobús urbà Regular	1,169	25,6%
FGC	0,459	11,2%
Renfe Rodalies	0,367	12,6%
Tramvia	0,822	2,9%
Metro	0,614	47,8%
Mitjana ponderada	0,713	100,0%
Turisme urbà	0,694	
Moto urbana	0,299	

Font: Cost unitari del temps (i distància mitjana recorregut), segons dades de l'estudi "Seguiment i actualització dels costos socials i ambientals de la mobilitat al sistema integrat de mobilitat metropolitana de Barcelona l'any 2017 i escenaris tendencial i proposta a 2025" actualitzades per inflació. Viatges per modes de transport públic a Barcelona a partir EMEF19.

L'increment del cost del temps derivat de la ZBE s'ha calculat multiplicant, respectivament, la disminució de viatges-km en cotxe i en moto pel diferencial del cost del temps unitari mitjà en transport públic menys el cost del temps unitari en cada un d'aquests dos modes.

El resultat que s'obté és que, el canvi modal del transport privat al transport públic origina un increment del temps dels viatges en els usuaris que fan el canvi. La monetització d'aquest increment del temps en base als valors de l'estudi de l'ATM situen aquest cost d'increment del temps de viatge en 12,4 milions d'euros anuals.

Atès que el càlcul de l'Anàlisi Cost Benefici es fa en termes reals, i que tant en l'ESCENARI ZBE com l'ESCENARI REFERENCIA els vehicles-km es mantenen constant, aquesta xifra es traslladarà per tots els anys de l'anàlisi.

Figura 4 Costos unitaris de l'accidentalitat

Mode de transport	Cost unitari accidents 2017 (en €2019) €/viatge-km
Autobús urbà Regular	0,007
FGC	0,000
Renfe Rodalies	0,000
Tramvia	0,000
Metro	0,000
Mitjana ponderada	0,002
Turisme urbà	0,045
Moto urbana	0,165

Font: Dades de l'estudi "Seguiment i actualització dels costos socials i ambientals de la mobilitat al sistema integrat de mobilitat metropolitana de Barcelona l'any 2017 i escenaris tendencial i proposta a 2025" actualitzades per inflació.

Per calcular els beneficis per la reducció de l'accidentalitat per la ZBE s'ha procedit de manera anàloga, prenent els costos unitaris dels accidents que es mostren en la figura 4 i que provenen del ja esmentat estudi. Atesa la baixa accidentalitat del transport públic, l'intercanvi del vehicle privat al transport públic significa una reducció considerable d'aquesta tipologia de cost

Figura 5 Anàlisi Cost Benefici

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversió	-3.720.777										
Costos operacions i manteniment	-1.107.373	-1.111.012	-1.103.733	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373
Taxes de registre i autoritzacions	256.028	564.871	801.038	813.863	813.863	759.768	759.768	759.768	759.768	759.768	759.768
Nox	1.879.945	2.536.013	1.875.156	2.027.819	1.404.154	1.164.322	732.810	704.951	548.787	241.056	
PM10	130.024	181.670	150.046	142.880	119.714	105.734	89.624	81.077	70.891	58.923	
PM2.5	3.911.023	5.634.611	4.587.382	4.308.130	3.493.303	3.022.905	2.501.993	2.191.602	1.822.988	1.485.547	
CO	9.438	13.734	10.531	9.656	7.574	6.277	4.895	4.050	3.144	2.221	
CO2	2.343.105	2.573.202	2.552.196	2.636.844	2.577.796	2.620.862	2.582.824	2.623.733	2.534.672	2.420.377	
Canvi vehicle	-25.968.873	-19.012.337									
Combustible	5.150.878	5.388.273	5.242.865	5.274.632	5.420.303	5.643.029	5.799.740	5.892.138	5.858.568	5.748.329	
Temps viatge	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	-12.343.055	
Seguretat	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	8.502.294	
FLUXOS PROJECTE	-3.720.777	-17.236.566	-7.071.734	10.274.721	10.265.691	8.888.574	8.374.765	7.523.521	7.309.187	6.650.685	5.768.088
VAN	26.563.308										
Taxa descompte	3%										
TIR	20%										
RBC	1,17										

Font: Elaboració pròpia.

Introduint aquest paràmetres, s'obté com a resultat un nou anàlisi cost benefici que es mostra en la figura 5. Novament el resultat és positiu tant en termes de VAN, com de TIR com de RBC.

Per últim, es realitza una altra sensibilitat considerant la variació d'una de les variables més

significatives. En concret, considerant que l'impacte sobre la mobilitat fos inferior. En aquest sentit s'ha fet l'exercici amb una disminució de mobilitat en vehicle privat del 1,5%, seguint les hipòtesis de Paris, o la més negativa d'Anvers.

Figura 6 Anàlisi Cost Benefici amb menor reducció de la mobilitat

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Inversió	-3.720.777										
Costos operacions i manteniment		-1.107.373	-1.111.012	-1.103.733	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373	-1.107.373
Taxes de registre i autoritzacions		256.028	564.871	801.038	813.863	813.863	759.768	759.768	759.768	759.768	759.768
Nox		1.658.719	2.350.850	1.699.862	1.871.527	1.259.606	1.030.960	609.970	594.242	449.120	150.468
PM10		108.234	161.469	130.096	123.428	100.569	86.875	71.017	62.718	52.756	40.971
PM2.5		3.426.388	5.204.138	4.165.582	3.903.041	3.098.734	2.638.119	2.126.015	1.824.040	1.463.055	1.132.464
CO		8.886	13.328	10.148	9.321	7.271	6.004	4.648	3.828	2.944	2.039
CO2		1.128.082	1.364.833	1.345.831	1.435.905	1.383.687	1.435.893	1.409.937	1.466.610	1.396.920	1.304.978
Canvi vehicle	-25.968.873	-19.012.337									
Combustible		2.413.790	2.656.219	2.511.187	2.551.408	2.711.911	2.957.908	3.144.906	3.276.900	3.292.615	3.239.191
Temps viatge		-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351	-6.612.351
Seguretat		4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801	4.554.801
FLUXOS PROJECTE	-3.720.777	-20.133.669	-9.865.190	7.502.462	7.543.571	6.210.719	5.750.605	4.961.338	4.823.185	4.252.255	3.464.957
VAN	4.712.103										
Taxa descompte	3%										
TIR	6%										
RBC	1,04										

Font: Elaboració pròpia.

Amb aquesta hipòtesi, l'anàlisi cost benefici segueix sent positiu, amb una TIR que dobla la taxa de social de descompte.

CONCLUSIONS

Aquesta comunicació mostra l'aplicació de l'Anàlisi Cost Benefici a l'aplicació d'una política que afecta la mobilitat privada.

Es disposen d'eines que permeten valorar els aspectes ambientals d'una determinada actuació en termes monetaris, el que permet avaluar de manera global l'impacte d'una actuació.

S'ha fet servir un model estàndard seguint les directrius de les guies d'institucions com la Unió Europea, o de països com Gran Bretanya o França, on s'han efectuat anàlisis cost beneficis sobre ZBE. Remarcar de manera especial la guia SAIT desenvolupada per la Generalitat de Catalunya per actuacions relacionades amb el transport i mobilitat.

Els preus ombra procedeixen de dades públiques de referència en l'àmbit europeu. La utilització de les guies europees permet que la valoració de les diferents polítiques o actuacions que es vulguin avaluar siguin homogènies, el que dona més consistència als resultats obtinguts i permet establir prioritats.

Els resultats mostren que es tracta d'una actuació positiva, en el sentit que els beneficis ambientals que genera compensen els costos de portar-la a terme. Per tant, generen un impacte net positiu sobre el benestar, i en xifres prou importants.

L'anàlisi ampliat incloent els impactes sobre temps de viatge, accidentalitat i consum de combustible mostra també resultats positius.

Però el fet que el saldo global sigui positiu, no vol dir que ho sigui per tots els agents implicats. Per tant, si bé no forma part de l'abast d'aquest treball, cal tenir-ho en compte, per desenvolupar actuacions complementàries que poden limitar l'oposició de col·lectius directament afectats.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ALBALATE, D., BEL, G.; FAGEDA, X., (2015) "When supply travels far beyond demand: Causes of oversupply in Spain's Transport Infrastructure", *Transport Policy* 41, pg 80-89.
- ARTÍS, M., SURIÑACH, J. (1996) "Anàlisi cost benefici del túnel del Cadí", Universitat de Barcelona,
- ATELIER PARISIEN D'URBANISME (2012) "ZAPA (Zone d'Action pour la Protection de l'Air à Paris) Etude d'impact socio-économique". Rapport final.
- BARCELONA REGIONAL, (2019) "Informe dels resultats del balanç d'emissions i la modelització de la qualitat de l'aire de la ZBE (zona de baixes emissions) de Barcelona i municipis propers", AMB, Barcelona.
- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA) (2009) "Practice Guidance to Local Authorities on Low Emissions Zones", UK government.
- DE RUS, G. (2010) "Evaluación económica de proyectos de transporte", Cedex. DE RUS, G. (2001), "Análisis Coste-Beneficio", Ed Ariel, Madrid.
- DORAMAS J (COORD.) (2013) "The Economic Appraisal of Investment Projects at the European Investment Bank", EIB.
- ESSEN, H., WIJNGAARDEN, L., SCHROTEN; A. (CE DELFT), SUTTER, D., BIELER, C. (INFRAS), MAFFII, S., BRAMBILLA, M., FIORELLO, D., FERMI, F., PAROLIN, R. (TRT), EL BEYROUTY, K. (RICARDO) (2019) "Handbook on the external costs of transport. Version 2019", Comissió Europea.
- GABINET ESTUDIS ECONOMICS (2019) "Seguiment i actualització dels costos socials i ambientals de la mobilitat al Sistema Integrat de Mobilitat Metropolitana de Barcelona l'any 2017 i escenaris tendencial i proposta a 2025", Autoritat de Transport Metropolità.
- GABINET ESTUDIS ECONÒMICS, MCRIT (2010) "Guia per a l'avaluació de projectes de transport", Col·legi d'Enginyers de Camis de Catalunya.
- GESOP (2020), "Omnibus de GESOP Hivern 2020", AMB, 2020.
- INSTITUT METROPOLITA (2019 i 2022), "Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2019 - 2022", Universitat Autònoma de Catalunya.
- LLEONART, P., GAROLA, A., (2001) "L'Eix Vic-Olot: estudi sobre el seu impacte socioeconòmic", Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- LLEONART, P., GAROLA, A. (1999) "L'autopista Pau Casals: Una peça clau per a la transformació socio-econòmica de l'àrea", Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2019) "Directrices para la creación de Zonas de Bajas emisiones", Gobierno de España.

MORTON, MATTIOLI & ANABLE (2017) "Low Emission Zones and Social Equity in Scotland: A spatial vulnerability assessment". ClimateXChange.

MUNDA G., (2017A) "On the use of Cost-Benefit Analysis and Multi-Criteria Evaluation in ex-ante Impact Assessment", EUR 28768 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

MUNDA, G., (2017B) "Social multi-criteria framework for ex-ante impact assessment", EUR 28752 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

QUEMIN, S., PAHLE, M., (2021) Financials threaten to undermine the functioning of emissions Markets. Social Science Research Network.

RACC, BARCELONA REGIONAL, AJUNTAMENT DE BARCELONA, ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA (2017) "Caracterització del parc circulant de vehicles a l'Àrea Metropolitana de Barcelona".

RICARDO ENERGY & ENVIRONMENT (2018) "Distributional Analysis Methodology Report (E3) - Southampton Clean Air Zone feasibility study - Report for Southampton City Council".

RIERA, P. (1998) "Estudi dels efectes econòmics i socials dels túnels de Vallvidrera", Universitat Autònoma de Barcelona. RIERA, P. (1993) "Rendibilitat social de les infraestructures: Les Rondes de Barcelona", Holsa, Barcelona.

ROMEN A, ET AL. (2022) "Avaluació de l'impacte econòmic de la Zona de Baixes Emissions de Barcelona" KSNET.

SAURÍ S, GRAGUERA A, PUIGNAU A., (2021) "Definició del sistema d'avaluació d'inversions en infraestructures de transport del Departament de Territori i Sostenibilitat. Fase 1: Principals actuacions viàries i actuacions ferroviàries interurbanes", CENIT, Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat.

SARTORI, D., CATALANO, G., GENCO, M., PANCOTTI, C., SIRTORI, E., VIGNETTI, S., DEL BO, C. (2014) "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020" Directorate-General for Regional and Urban policy, European Commission.

SHAFIEI E., LEAVER J., DAVIDSDOTTI B., (2017) "Cost-effectiveness analysis of inducing green vehicles to achieve deep reductions in greenhouse gas emissions in New Zealand", Journal of Cleaner Production, Volume 150.

STIGLITZ J., STERN N. (2012) "La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques", de 2019, promogut per France-Stratégie

TML, "Haalbaarheidsstudie voor invoering en beheer van lage emissiezone(s) in de stad Antwerpen" (Feasibility study for the introduction and management of low-emission zone(s) in the city of Antwerp). Transport & Mobility Leuven Diestsesteenweg 57, 3010 Leuven, Belgium.

WATKISS P. (COORD.) (2003) "The London Low Emission Zone Feasibility Study" Mayor for London, Transport for London, Defra, London.

(1) Universitat Politècnica de Catalunya-Departament Enginyeria Civil i Ambiental.

(2) GLLG Gabinet Estudis Econòmics.

(3) GLLG Gabinet Estudis Econòmics.

(4) Aquesta comunicació es basa en el treball que els autors van portar a terme per encàrrec de l'Ajuntament de Barcelona l'any 2022 amb el títol **"Impacte de la Zona de Baixes Emissions Rondes de Barcelona. Anàlisi Cost-Benefici"**.

(5) El treball **"L'Eix Vic-Olot: estudi sobre el seu impacte socioeconòmic"** (LLEONART et al. 2001) va ser un dels primers anàlisi *ex-ante* elaborats per avaluar un projecte que encara no estava construït, i que servís com element de presa de decisions. Cal tenir en compte que en aquell moment la bibliografia existent sobre casos concrets realitzats a Catalunya i per extensió a l'Estat espanyol amb una metodologia comparable a la que s'utilitzava en les països punters en el tema no era massa extensa, i en tots els casos s'havien avaluat projectes que ja estaven en marxa. Per exemple, veure: **"Rendibilitat social de les infraestructures: Les Rondes de Barcelona"** (RIERA 1993), **"Anàlisi cost benefici del túnel del Cadí"** (ARTIS et al 1996), **"Estudi dels efectes econòmics i socials dels túnels de Vallvidrera"** (RIERA 1998), **"L'autopista Pau"**

(6) **Casals: Una peça clau per a la transformació socio-econòmica de l'àrea** (LLEONART et al. 1999). No s'han quantificat els impactes derivats del N2O i del CH4. Novament s'ha aplicat el criteri de prudència, i davant la no disponibilitat de dades no s'ha fet cap extrapolació del pes que pot tenir la Zona de Baixes Emissions Rondes de Barcelona sobre aquests dos gasos.