

plastificants, organofosfats i productes de combustió, entre d'altres. Les campanyes de seguiment primari també poden servir com a mitjà eficaç per a obtenir dades ambientals en aquests contextos. Un cas il·lustratiu és un estudi amb cinquanta adults residents al sud de l'Índia, on es va dur a terme un seguiment ambiental i personal integral (Milà *et al.*, 2018). Aquest estudi exemplifica les tècniques avançades d'integració de dades en entorns amb recursos limitats combinant les concentracions de contaminació de l'aire personal i ambiental amb qüestionaris, GPS i dades de càmeres portàtils, que van permetre no només identificar activitats associades a una major exposició, sinó també discernir les hores específiques del dia i els llocs on es van produir aquestes exposicions.

Per a avançar en els estudis de l'exposoma al Sud global i millorar la col·laboració global en la investigació de l'exposoma, actualment hi ha diverses iniciatives en curs. Cal destacar el projecte International Human Exposome Network, finançat per la Comissió Europea, que pretén unir les parts interessades de diversos sectors a escala mundial. Aquest enfocament col·laboratiu és crucial per a maximitzar l'impacte de la futura investigació de l'exposoma, especialment en molts països del Sud global on la investigació ha estat històricament limitada o infravalorada.

### 7.3. EXPOSOMA I SALUT PLANETÀRIA

ALBERT BACH  
QUIM ZALDO-AUBANELL

El concepte d'exposoma ha evolucionat per incloure no només les exposicions químiques, sinó també els factors ambientals més amplis que afecten la salut humana (Price *et al.*, 2022). La visió holística de l'exposoma, sobretot quan s'analitza l'exposoma extern, avalua les connexions de la salut humana amb la complexa xarxa d'interaccions dins dels ecosistemes, inclosos també els impactes de l'estil de vida, els determinants socials i els entorns naturals. Quan es té en compte la interconnectivitat entre l'exposició d'un individu i els factors ecològics i ambientals més amplis, el marc de l'exposoma es pot alinear amb l'enfocament One Health, que proposa una perspectiva de salut unificada entre humans, animals i els seus entorns compartits. A més, el camp de l'exposoma també podria contribuir a avaluar la importància de salvaguardar la salut planetària com a mitjà per a prevenir malalties i promoure el benestar, destacant els reptes i les oportunitats relacionats amb les exposicions individuals, i així poder mitigar els canvis ambientals globals derivats de la degradació ambiental.

Tot i que aquests tres conceptes convergeixen, presenten algunes diferències:

- La investigació de l'exposoma se centra a identificar les exposicions ambientals individuals i els seus efectes sobre la salut.

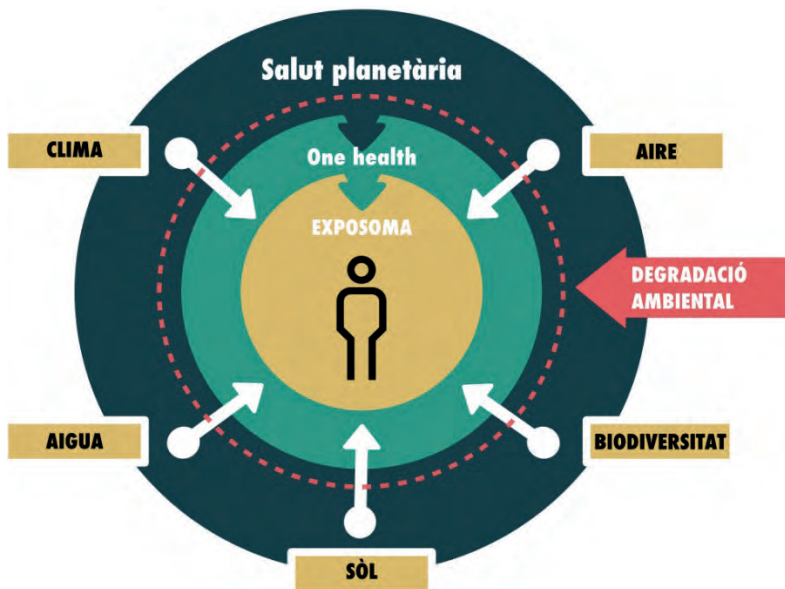


FIGURA 16. Esquema de les interconnexions entre la salut planetària, el concepte One Health i l'exposoma en el context de degradació ambiental.

FONT: Elaboració d'Albert Bach.

— One Health posa l'accent en la salut interconnectada dels humans, els animals i el medi ambient, especialment pel que fa a les malalties zoonòtiques i la salut dels ecosistemes (Erkyihun i Alemayehu, 2022; Wilcox i Steele, 2021).

— La salut planetària adopta una visió més àmplia perquè examina els impactes sobre la salut humana que deriven de les alteracions causades pels humans en els sistemes naturals de la Terra (Martens, 2024).

Cada enfocament, tot i que és diferent en l'aproximació i la metodologia, subratlla la necessitat crítica de desenvolupar estratègies de salut integrades que considerin les complexes interconnexions entre les activitats humanes, la salut i el medi ambient.

Així, el concepte de l'exposoma pot ajudar a posar en relleu el paper fonamental de la salut ambiental a l'hora de millorar o perjudicar el benestar humà. A grans trets, les influències ambientals sobre la salut humana provenen d'un dels cinc dominis clau de la Terra: l'aigua, el sòl, el clima, l'aire i la biodiversitat (vegeu la figura 16). No obstant això, la Terra funciona com un sistema interconnectat, que revela la complexa interacció entre el desenvolupament humà i el medi ambient (Ragnarsdottir, 2022). Aquesta perspectiva encoratja el canvi de passar d'examinar els impactes aïllats dins d'àrees específiques a explorar les seves con-

seqüències interconnectades a una escala més gran. En aquest sentit, la degradació ambiental, en gran part impulsada per l'activitat humana, limita o inverteix els beneficis i els serveis que ofereix el medi ambient, la qual cosa pot provocar efectes adversos i portar els ecosistemes i la supervivència humana al límit.

A l'avantguarda de la transformació ambiental, el canvi climàtic actua com a catalitzador d'una sèrie de perturbacions ambientals interconnectades. Impulsada per l'augment de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, la temperatura de la superfície global va augmentar 1,1 °C per sobre dels nivells preindustrials del 2011 al 2020. Aquest escalfament ha alterat l'equilibri de les precipitacions i ha accelerat el retrocés de les glaceres a un ritme sense precedents, la qual cosa ha contribuït a un augment del nivell del mar de 3,4 mm anuals des de 1993 (Nerem *et al.*, 2018). Aquestes alteracions en els recursos hídrics qüestionen la seva disponibilitat i qualitat i impacten en el teixit de la biodiversitat. Les espècies es veuen obligades a migrar o s'enfronten a l'extinció, i alteren els ecosistemes que han proporcionat serveis ambientals essencials, des de la pol·linització fins a la regulació del clima durant mil·lennis.

Els efectes de la degradació s'estenen a la qualitat de l'aire. La contaminació de l'aire de les regions urbanes i industrials s'afegeix a l'escalfament del nostre planeta i afavoreix un cicle que compromet el desenvolupament de tots els organismes vius i la integritat dels ecosistemes. Aquesta contaminació produeix diverses seqüències ambientals, com ara la pluja àcida, el declivi forestal, la fluctuació de l'ozó a nivell del sòl i l'eutrofització. Més del 90 % de la població mundial està exposada a una qualitat de l'aire que supera les directrius de l'Organització Mundial de la Salut (OMS) a causa de les importants concentracions de contaminants (Organització Mundial de la Salut, 2022). La càrrega és especialment severa als països d'ingressos baixos i mitjans, on es produeixen els nivells més alts d'exposició (Rentschler i Leonova, 2023), amb aproximadament set milions de morts prematures cada any.

En aquest context, la biodiversitat també s'enfronta a una sèrie d'amenaques sense precedents. L'era de l'antropocè, caracteritzada per canvis significatius en la química atmosfèrica i oceànica, la urbanització, la fragmentació de l'hàbitat, les alteracions de l'ús del sòl i la globalització, ha degradat significativament la biosfera. Aquesta degradació està contribuint a una crisi de pèrdua de biodiversitat, amb estimacions que indiquen que entre 150.000 i 260.000 espècies s'han extingit des de l'any 1500, dades que marquen l'inici de la sisena extinció massiva del planeta (Ceballos i Ehrlich, 2018; Cowie *et al.*, 2022). La pèrdua de biodiversitat no només compromet el funcionament de la biosfera, sinó que també degrada el seu paper en la regulació del clima i el manteniment de la qualitat de l'aigua, entre d'altres.

Al mateix temps, la pèrdua de biodiversitat, juntament amb les amenaces de la contaminació química, la contaminació per metalls pesants i l'erosió de l'agri-

cultura convencional i el desenvolupament d'infraestructures, perjudiquen de manera crítica les funcions i serveis vitals del sòl. Els sòls sans en climes temperats haurien de retenir almenys un 2 % de carboni orgànic del sòl, però les terres de cultiu europees estan alliberant carboni a una taxa del 0,5 % anual (Bruni *et al.*, 2022; Lal, 2020). A mesura que s'esgota el carboni orgànic del sòl, els sòls perden la seva capacitat d'actuar com a embornals de carboni efectius, i contribueixen a augmentar els nivells de diòxid de carboni atmosfèric (Nazir *et al.*, 2024). Aquest procés no només pot agreujar el risc de contaminació dels aqüífers a causa de la disminució de la capacitat de filtració del sòl, sinó que també pot influir en les emissions d'òxid nitrós ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Guenet *et al.*, 2021).

Els impactes directes sobre la salut humana de les exposicions induïdes pel canvi climàtic inclouen la intensificació dels problemes respiratoris, cardiovasculars, renals i de salut mental a causa de l'augment de les temperatures i les onades de calor, juntament amb les lesions i malalties provocades per esdeveniments meteorològics extrems com les pluges torrencials i les inundacions. Els efectes indirectes inclouen un augment de les malalties infeccioses a través de canvis en la distribució de vectors i hostes, reaccions al·lèrgiques agreujades a causa de canvis en els perfils d'allèrgens i problemes de salut per toxines produïdes per organismes marins afectats per l'escalfament de les aigües. A més, es preveu que el canvi climàtic afecti indirectament la salut humana a través de factors socioeconòmics, com ara l'empitjorament de la contaminació de l'aire, la disminució de la disponibilitat d'aigua i aliments i les tensions del sistema sanitari derivades de les migracions a causa de les condicions climàtiques (Marrasé *et al.*, 2020).

Els impactes de les exposicions induïdes per la pèrdua de biodiversitat engloben tots els efectes derivats de la degradació ambiental en les múltiples vies que connecten la biodiversitat amb la salut humana. La funció crucial de la biodiversitat de subministrar recursos medicinals i garantir la seguretat alimentària està en risc, fet que augmenta la probabilitat de desnutrició i la pèrdua de potencials descobriments farmacèutics. A més, els sistemes de filtració natural que protegeixen la qualitat de l'aigua es veuen compromesos i, per tant, s'incrementa l'exposició a malalties transmeses per l'aigua. La pèrdua de biodiversitat urbana agreuja la contaminació atmosfèrica i acústica, eleva les temperatures urbanes i augmenta l'exposició a la calor extrema, per la qual cosa creix col·lectivament el risc de trastorns respiratoris, malalties cardiovasculars i malalties relacionades amb la calor. A més, els canvis en les poblacions i els hàbitats de la vida salvatge poden accelerar la propagació de malalties zoonòtiques, atès que alteren la dinàmica dels hostes i vectors de la malaltia i augmenten l'exposició humana a malalties infeccioses. L'alteració de les composicions d'espècies vegetals i animals també pot provocar una major exposició als al·lèrgens de l'aire (Marselle *et al.*, 2021).

Tal com es mostra en aquest informe, el camp d'investigació de l'exposoma ha desenvolupat diverses eines i metodologies dissenyades per a quantificar i analitzar la complexa varietat d'exposicions ambientals a les quals s'enfronten les persones. La possible integració dels avenços tecnològics del camp de l'exposoma en l'àmbit de la salut planetària pot ajudar a conèixer millor les exposicions induïdes específicament pel canvi climàtic o per la degradació ambiental i les seves possibles implicacions per a la salut (Abdelzaher *et al.*, 2022; Cui *et al.*, 2016).

Aquesta integració de les eines de l'exposoma en el camp de la salut planetària també estableix les bases per a desenvolupar intervencions estratègiques destinades a mitigar els reptes ambientals als quals ens enfrontem com a societat. Així, els coneixements i les eines de l'exposoma són claus per a desenvolupar polítiques basades en la ciència per tal de preservar la salut pública i restaurar la salut planetària en aquest moment històric crític.