



Resum

L'actual crisi multidimensional requereix enfocaments holístics i sistèmics que generin representacions útils en l'esfera científica sobre l'encaix dels sistemes humans en els sistemes naturals. En aquesta ponència es presenta l'enfocament del metabolisme social i, més concretament de l'anàlisi MuSIASEM (acrònim de *Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*), com a mitjà per dur a terme robustes anàlisis de sostenibilitat. La metodologia seleccionada s'aplica al cas d'Andorra centrant-se en un diagnòstic dels requisits d'energia i aigua que fan possible el manteniment i la reproducció d'Andorra, així com la seva especialització funcional. A més, donada l'elevada dependència del país respecte de les importacions, es mostren els resultats d'una anàlisi d'externalització que compara les necessitats de diferents atributs biofísics del sector energètic i agrícola d'Andorra amb la quantitat d'aquests atributs que estan incorporats en les importacions de productes energètics i aliments, la qual cosa remarca l'elevada dependència d'Andorra d'altres territoris.

1. Introducció

La crisi climàtica continua agreujant-se després de més de cinc dècades de governança ambiental global, iniciada en la Cimera de la Terra d'Estocolm de 1972. En el moment d'escriure aquest text, les concentracions de diòxid de carboni en l'atmosfera sobrepassen les 420 parts per milió (ppm) (Scripps Institution of Oceanography, 2024), lluny del valor de 350 ppm considerat segur per a l'estabilitat climàtica (Hansen et al., 2008). Considerant la tendència actual d'emissions de gasos d'efecte d'hivernacle (GEI), Hansen et al. (2023) adverteixen que l'escalfament global superarà els 1,5 °C en la dècada de 2020 i els 2 °C abans de 2050, amb la creixent possibilitat de desencadenar múltiples i perillosos punts d'inflexió climàtica (McKay et al., 2022). Les emissions de GEI, d'altra banda, lluny d'aplanar-se, continuen creixent (haurien de caure en picat com més aviat per evitar els pitjors escenaris) i el 2023 van assolir un nou rècord de 40.900 tones (Greenpeace, 2024), havent-se quadruplicat des de 1960 (Osaka, 2022).

No obstant això, l'escalfament global només és el símptoma més evident d'un problema de fons que es pot resumir en una situació d'extralimitació (*overshoot*), de xoc contra els límits

Juan Jesús Larrabeiti i Rodríguez

Doctor per la Universitat d'Andorra, professor col·laborador a la Universitat Carlemany i col·laborador del grup de recerca Integrated Assessment: Sociology, Technology and the Environment de la Universitat Autònoma de Barcelona



Juan Jesús Larrabeiti i Rodríguez

La sostenibilitat d'Andorra des d'una perspectiva metabòlica

biofísics del planeta (Riechmann, 2024). Així, en un recent informe de salut planetària (Caesar et al., 2024), es posa de manifest que ens enfrontem a una alarmant crisi multidimensional, una *policrisi* (Lawrence et al., 2024), de problemes interconnectats com el canvi climàtic, la pèrdua de biodiversitat o la contaminació. L'informe mostra que s'ha traspassat la zona de seguretat de sis dels nou límits planetaris considerats –el que respecten a la contaminació, el clima, la biodiversitat, l'ús de la terra, l'aigua i els nutrients– alhora que s'està prop de sobrepassar el límit segur en acidesa dels oceans i càrrega d'aerosols.

En el context esmentat, comprendre l'insostenible encaix de les societats industrials en els ecosistemes i millorar la qualitat del debat sobre la possibilitat d'una ordenació entre humans i naturalesa més sostenible requereix enfocaments holístics i sistèmics que generin representacions útils en l'esfera científica que acompanyin polítiques efectives en l'esfera política i canvis significatius en les pràctiques socials (Sorman i Giampietro, 2011). Aquesta aproximació sistèmica ha de complementar i matisar enfocaments unidimensionals basats en la gestió d'un sol recurs (p. ex. aigua o energia) o centrats en determinats processos (p. ex. reduir les emissions o el consum de recursos a una determinada escala), que poden tenir efectes no desitjats en una escala més gran (p. ex. el dany irreversible en la biodiversitat produït per les activitats mineres necessàries per produir dispositius de captació d'energia renovable com plaques solars o aerogeneradors). En aquesta ponència s'introdueix el paradigma del metabolisme social per donar resposta a l'esmentada necessitat d'aquests enfocaments holístics. Així, la resta del document té l'estructura següent. La següent secció sintetitza les idees bàsiques d'aquest paradigma (2.1) i d'una de les seves principals metodologies l'anàlisi MuSIASEM. La secció 3 ofereix al lector una lleugera pinzellada de com la metodologia es pot aplicar al cas d'estudi d'Andorra per analitzar els seus requeriments energètics (3.1) i d'aigua (3.2) i considerar la dependència del metabolisme del país de processos externs (3.3). La ponència tanca amb unes consideracions finals (secció 4).

2. El metabolisme social i MuSIASEM

2.1. Metabolisme social

El concepte de *metabolisme social* va néixer de l'observació que tant els sistemes biològics (p. ex. organismes,

ecosistemes) com els socioeconòmics (p. ex. llars, empreses, economies nacionals) depenen d'un flux continu d'energia i materials per mantenir la seva estructura interna. Més específicament, el metabolisme social al·ludeix a la necessitat d'estabilitzar un conjunt de transformacions d'energia i materials que ocorren dins d'un determinat sistema social i entre aquest sistema i el seu medi ambient. Aquests complexos processos de transformació determinen l'estructura funcional del sistema, n'asseguren la reproducció, mantenen i reparen els seus elements estructurals i permeten l'adaptació del sistema davant canvis en el medi ambient (Giampietro et al., 2012).

El paradigma del metabolisme social ofereix un marc analític per comprendre l'apropiació humana de la naturalesa (Toledo, 2008). En aquest sentit, les relacions que els éssers humans estableixen amb la naturalesa són sempre dobles. A escala individual, els éssers humans extreuen de la naturalesa quantitats suficients d'oxigen, aigua i biomassa per sobreviure alhora que excreten calor, aigua i substàncies mineralitzades. D'altra banda, a escala social el conjunt d'individus s'organitza a través de nexes i institucions de diferent tipus, extraient energia i materials de la naturalesa per mitjà d'estructures metaindividus o artefactes per garantir la seva subsistència i reproducció social i excreta tota una gamma de residus o deixalles. Aquests dos nivells corresponen al que s'ha anomenat *energia endosomàtica* i *exosomàtica*¹ (Lotka, 1922), una distinció teòrica bàsica dels fonaments de l'economia ecològica (Martinez-Alier i Roca-Jusmet, 2013).

El paradigma del metabolisme social reconeix explícitament la dependència de les nostres economies del sistema natural i el fet que una relació sostenible amb la naturalesa implica un ús de materials i energia en els sistemes humans compatible amb les capacitats regeneratives i d'absorció de residus dels ecosistemes. Així estableix una definició clara de sostenibilitat a llarg termini (Haberl et al., 2019).

2.2. Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM)

MuSIASEM és un dels principals enfocaments dins de la recerca sociometabòlica (Gerber i Scheidel, 2018). La metodologia posseeix uns fonaments teòrics heterodoxos basats en les ciències de la complexitat (Giampietro, 2021) que la fan adequada per a l'estudi dels problemes de sostenibilitat. El lector interessat pot consultar una recent

1- L'energia endosomàtica és l'energia usada internament per un organisme per mantenir les seves funcions i estructura, mentre que l'energia exosomàtica prové de fonts externes, com la tecnologia, per donar suport a activitats dutes a terme fora del cos humà com conduir un tractor o escalfar aigua. Aquesta distinció ajuda a explicar com l'energia és utilitzada per diferents organismes i societats.

discussió sobre els principals pilars teòrics de la metodologia, les diferents eines que disposa per a la caracterització de la sostenibilitat juntament amb la seva il·lustració a partir de diferents exemples pràctics a Larrabeiti-Rodríguez i Velasco-Fernández (2022). La metodologia integra diferents dimensions (p. ex. econòmica, demogràfica i biofísica) i escales d'anàlisi (el sistema que estudia com un tot, els diferents compartiments del sistema estudiat i la relació entre el sistema d'estudi i altres sistemes) la qual cosa facilita una anàlisi multidimensional i multiescalar que escapa al reduccionisme d'altres anàlisis que utilitzen una sola dimensió (moltes vegades la monetària) i una sola escala d'anàlisi.

Conforme a la perspectiva de la metodologia, una anàlisi robusta de la sostenibilitat implica considerar un sistema socioeconòmic com un sistema socioecològic (Holling, 2001) determinat per les activitats expressades per un conjunt d'ecosistemes —en l'*ecosphere* (Rees, 1999)— i un conjunt d'actors socials i institucions —en l'*anthroposphere* (Kuhn i Heckeley, 2010). Així, la metodologia sosté que l'estudi de la sostenibilitat ha d'integrar els aspectes següents:

1. Una visió externa relacionada amb el concepte de *feasibility* que examina els processos fora de control humà en l'*ecosphere*. Aquesta visió externa valora la compatibilitat de la sostenibilitat d'una societat determinada en relació amb l'existència de limitacions externes generades per la naturalesa tant des del costat de l'obtenció de recursos naturals (com l'abundància d'aigua o l'existència de combustibles fòssils) com des del costat de l'absorció de residus (com les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle o els residus plàstics). Aquesta visió s'expressa a partir d'una anàlisi quantitativa associada amb la matriu de pressió ambiental (*environmental pressure matrix*, EPM).

2. Una visió interna relacionada amb el concepte de *viability* que examina els processos sota control humà en la *anthroposphere*. Aquesta visió interna estudia les limitacions biofísiques i econòmiques internes a les quals està subjecte qualsevol sistema econòmic i està relacionada amb una anàlisi quantitativa dels inputs secundaris (p. ex. productes energètics i aliments produïts a partir de recursos naturals, com la benzina o la farina) i elements fons² sota control humà (p. ex. hores d'activitat humana o determinats usos del sòl) associats amb la matriu d'usos finals (*end-use matrix*, EUM).

2- Per a Georgescu-Roegen (1971), els elements fons mantenen la seva identitat durant la durada d'una anàlisi. Exemples d'aquests elements són les persones, la terra o un aqüífer que és gestionat de manera sostenible i no es degrada. Per contra, els elements de flux canvien la seva identitat durant l'anàlisi (apareixen i desapareixen), com passa amb l'energia, el menjar o els residus.

3. Aplicació inicial a Andorra

En aquesta secció es mostren alguns resultats i reflexions que es poden obtenir en aplicar la metodologia seleccionada al cas d'estudi d'Andorra focalitzant-se en la quantificació dels requeriments energètics i d'aigua. També, donat l'alta dependència dels sistemes energètic i agrícola d'Andorra de les importacions, es mostren els resultats d'una anàlisi d'externalització en què es comparen diferents necessitats d'elements biofísics dels sistemes energètic i agrícola andorrans amb les quantitats d'aquests elements que es troben incorporades en les importacions de productes energètics i alimentaris que fa Andorra per mantenir el seu consum endosomàtic i exosomàtic d'energia. Per a una discussió més detallada, així com per obtenir informació metodològica sobre com s'han produït els diferents valors numèrics, recomano al lector interessat consultar la tesi doctoral de pròxima publicació *Sustainability through MuSIASEM nexus analysis: the case of Andorra* (Larrabeiti-Rodríguez, 2024).

3.1. Energia

Per fer un diagnòstic dels requeriments energètics d'Andorra, tant per cobrir el seu consum exosomàtic com endosomàtic d'energia cal fer els passos següents:

1. Definir Andorra en diferents compartiments funcionals. Per això s'han considerat el *household sector* (HH) –el sector residencial–, el *paid work sector* (PW) –els diferents sectors econòmics– i la categoria d'altres usuaris (*other users*), que engloba l'activitat de turistes i visitants. Al seu torn, el PW s'ha dividit en l'*agricultural sector* (AG), l'*industry, construction and manufacturing sector* (ICM) i el *service and government sector* (SG), això és, els sectors primari, secundari i terciari.³

2. Obtenir informació quantitativa per als compartiments funcionals definits anteriorment en relació amb: (i) el consum de diferents productes energètics sota els epígrafs de *electricity* (electricitat), *heat* (fuel per escalfar), *fuel* (fuel per a transport) i *food* (menjar); (ii) *human activity* (hores d'activitat humana per a cada nivell funcional), i (iii) ràtios metabòliques d'ús d'energia per hora d'activitat humana, definides com a *exosomatic metabolic rate* (Exo MR) i *endosomatic metabolic rate* (Endo MR).

La informació comentada prèviament és expressada en la corresponent *end-use matrix* (taula 1). Andorra depèn d'elements biofísics externs a les seves fronteres. Així, la

3- Demano al lector disculpes per l'abundant ús d'anglicismes en aquesta ponència. La metodologia MuSIASEM es va concebre i desenvolupar en anglès i crec més adequat preservar els termes originals de les diferents variables utilitzades.

Taula 1.
Requeriments del
metabolisme
exosomàtic i
endosomàtic
d'Andorra

Compartiments funcionals	Metabolisme exosomàtic						Metabolisme endosomàtic	
	Human activity (Mh) ¹	Electricity (GWh) ²	Heat (TJ) ³	Fuel (TJ)	GER ⁴ (TJ)	Exo MR (MJ/h) ⁵	GFS ⁶ (TJ)	Endo MR (kcal/h) ⁷
N (Andorra)	969	567	1.939	2.604	11.061	11,4	314	77
N-1								
Household (HH)	650	186	634	2.116	5.371	8,3	314	77
Paid work (PW)	85	381	1.305	488	5.690	66,9	n. a. ⁸	n. a.
Other users	234							
N-2 (PW)								
Agriculture (AG)	1	Negl.	Negl.	1	1	1,5	n. a.	n. a.
Industry (ICM)	11	26	35	39	336	30,5	n. a.	n. a.
Services (SG)	73	355	1.270	448	5.353	73,1	n. a.	n. a.

¹ Megahores; ² Gigawatts hora; ³ Terajoules; ⁴ Gross energy requirements (necessitat d'energia bruta) a partir de Giampietro et al. (2013); ⁵ Megajoules per hora; ⁶ Gross food supply (subministrament brut d'aliments); ⁷ Quilocalories per hora; ⁸ not available (no disponible). Elaboració pròpia a partir del Departament d'Estadística (2019), Miquel et al. (2021) i Govern d'Andorra (2007). Dades per a l'any 2019

Referències

ARENAS, L., NAREDO, J. M. & RIECHMANN, J. (2022). *Bioeconomía para el siglo XXI. Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen*. Los Libros de la Catarata, Madrid.

CADILLO-BENALCAZAR, J. J., RENNER, A. & GIAMPIETRO, M. (2020). A multiscale integrated analysis of the factors characterizing the sustainability of food systems in Europe. *Journal of Environmental Management*, 271, 110944. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110944>

CAESAR, L., SAKSCHEWSKI, B., ANDERSEN, L. S., BERINGER, T., BRAUN, J., DENNIS, D., GERTEN, D., HEILEMANN, A., KAISER, J., KITZMANN, N. H., LORIANI, S., LUCHT, W., LUDESCHER, J., MARTIN, M., MATHESIUS, S., PAOLUCCI, A., TE WIERIK, S. & ROCKSTRÖM, J. (2024). *Planetary Health Check Report 2024*. Potsdam.

DEPARTAMENT D'ESTADÍSTICA (2019). *Demographic, social and economic statistics*. <https://www.estadistica.ad/portal/apps/sites/#/estadistica-en> En línia; consultat 6-6-2023.

GERBER, J. F. & SCHEIDEL, A. (2018). In Search of Substantive Economics: Comparing Today's Two Major Socio-metabolic Approaches to the Economy – MEFA and MuSIASEM. *Ecological Economics*, 144, 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.012>

informació sobre *human activity* mostra que la categoria d'*other users*, que recull hores d'activitat humana de turistes i visitants representa un 24% del total de l'activitat humana. També és possible observar com el sector serveis té els requisits energètics exosomàtics per hora de treball més alts en el sector (73,1 MJ/h). Pel que fa al consum energètic exosomàtic total, el sector residencial (HH) utilitza principalment fuel per a mobilitat (fuel) –81% del total de consum de fuel per a aquesta categoria– mentre que el conjunt de sectors econòmics (PW) usa de manera principal electricitat (*electricity*) i fuel per a calor (*heat*) –67% del consum total per a totes dos categories–. Els requeriments exosomàtics totals (GER) es distribueixen de manera bastant equitativa entre el sector residencial (HH) –48%– i el conjunt de sectors productius (PW) –52%–. Andorra té una ràtio de metabolisme exosomàtic en el sector residencial excepcionalment alta (8,3 MJ/h), considerat un valor de referència del nivell material de vida, comparable amb països com el Canadà (8,8 MJ/h) i els EUA (10 MJ/h) i que sobrepassa la mitjana europea de 6,4 MJ/h. A escala de país (nivell N), la ràtio de metabolisme exosomàtic (11,4 MJ/h) és lleugerament inferior a la mitjana dels països europeus (17 MJ/h) (Larrabeiti-Rodríguez, 2021). Finalment, només ha estat possible calcular els requeriments de metabolisme ensodomàtic per al conjunt del país, extrapolant els valors del sector residencial. Així, la seva ràtio de metabolisme endosomàtic és aproximadament de 1.854 kcal/dia (equivalent al valor mostrat en la taula de 77 kcal/h), i és similar al de països com Espanya, amb un consum endosomàtic de 1.810 kcal/dia (Ruiz et al., 2015).

3.2. Aigua

Per analitzar el consum d'aigua a Andorra s'ha utilitzat principalment el Govern d'Andorra (2016). El consum d'aigua és classificat en ús consumptiu i no consumptiu i els diferents valors són assignats als elements funcionals considerats per al cas de l'energia. L'ús consumptiu inclou l'extracció d'aigua i el seu posterior retorn al medi ambient amb una pèrdua de quantitat i qualitat. L'ús no consumptiu es refereix a l'extracció d'aigua i retorn al mitjà sense pèrdua de quantitat ni qualitat. Per al cas de l'anàlisi dels requeriments d'aigua per a la reproducció i funcionalitat dels diferents compartiments socials es requereix informació quantitativa de: (i) *water throughput* (consum total d'aigua), diferenciant entre *consumptive use* (ús consumptiu) i *non-consumptive use* (ús no consumptiu); (ii) *human activity* (hores d'activitat humana per a cada nivell funcional), i (iii) la ràtio metabòlica d'ús d'aigua per hora d'activitat humana (calculada només per als usos consumptius). Aquesta informació és recopilada en una *end-use matrix* per a l'aigua (taula 2).

Compartiments funcionals	Human activity (Mh) ¹	Water throughput (Mm ³) ²	Consumptive use (Mm ³)	Non-consumptive use (Mm ³)	Water MR (m ³ /h) ³
N (Andorra)	893	90,150	13,177	76,973	0,015
N-1					
Household (HH)	600	5,547	5,547		0,009
Paid Work (PW)	75	84,603	7,630	76,973	0,102
Other users	218				
N-2 (PW)					
Agriculture (AG)	1	3,042	1,742	1,300	2,750
Industry (ICM)	9	74,502	0,021	74,480	0,002
Services (SG)	65	7,059	5,866	1,193	0,090

Per al cas d'Andorra, l'ús no consumptiu d'aigua inclou principalment la canalització d'aigua per a la generació d'electricitat (ICM) i per a la creació de neu artificial (SG). La distribució dels usos consumptius al nivell (N-1) mostra que les activitats econòmiques (PW) consumeixen al voltant del 58% del total d'aquesta categoria mentre que les activitats residencials són responsables del 42% del consum en usos consumptius. Dins de les activitats econòmiques, baixant jeràrquicament al nivell N-2, el sector serveis representa el 77% del consum en PW, seguit pel sector agrícola (23% del consum en PW, principalment per al cultiu del tabac). El sector

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Harvard University Press, London.

GIAMPIETRO, M. (2021). Implications of Complexity Theory. *Visions for Sustainability*, 16, 31-42. <https://doi.org/10.13135/2384-8677/5995>

GIAMPIETRO, M., MAYUMI, K., & SORMAN, A.H. (2013). *Energy Analysis for a Sustainable Future: Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*. Routledge, London.

GIAMPIETRO, M., MAYUMI, K., & SORMAN, A.H. (2012). *The Metabolic Pattern of Societies: Where Economists Fall Short*. Routledge, London.

GOVERN D'ANDORRA (2020). *Andorra en xifres 2020*. Andorra la Vella.

Taula 2.
Requeriments d'aigua per al diferents compartiments funcionals d'Andorra

¹ Megahores; ² Mega metres cúbics; ³ metres cúbics per hora. Elaboració pròpia a partir del Departament d'Estadística (2019) i el Govern d'Andorra (2016). Dades per a l'any 2015

GOVERN D'ANDORRA (2016). *Estudi per a l'elaboració anyal de l'inventari i quantificació de la despesa hídrica per usos del Principat d'Andorra-Any 2015*. Andorra la Vella.

GOVERN D'ANDORRA (2007). *Avaluació de l'estat nutricional de la població d'Andorra 2004-2005*. Andorra la Vella.

GREENPEACE (2024). *2023, un año record de eventos climáticos extremos y de emisiones de CO2*. Madrid.

HABERL, H., WIEDENHOFER, D., PAULIUK, S., KRAUSMANN, F., MÜLLER, D. B. & FISCHER-KOWALSKI, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, 2(3), 173-184. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2>

HANSEN, J., SATO, M., KHARECHA, P., BEERLING, D., BERNER, R., MASSON-DELMOTTE, V., PAGANI, M., RAYMO, M., ROYER, D. L. & ZACHOS, J. C. (2008). Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim?. *The Open Atmospheric Science Journal*, 2(1), 217-231. <https://doi.org/10.2174/1874282300802010217>

HANSEN, J. E., SATO, M., SIMONS, L., NAZARENKO, L. S., SANGHA, I., KHARECHA, P., ZACHOS, J. C., VON SCHUCKMANN, K., LOEB, N. G., OSMAN, M. B., JIN, Q., TSELIODIS, G., JEONG, E., LACIS, A., RUEDY, R., RUSSELL, G., CAO, J. & LI, J. (2023). Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change*, 3(1). <https://doi.org/10.1093/OXFCLM/KGAD008>

HOLLAND, J. H. (2006). Studying complex adaptive systems. *J. Syst. Sci. Complex*, 19, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11424-006-0001-z>

HOLLING, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4, 390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>

KUHN, A. & HECKELEI, T. (2010). Anthroposphere. In: *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, p. 282-341. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12957-5_8

LARRABEITI-RODRÍGUEZ, J. J. (2024). *Sustainability through MuSIASEM nexus analysis: the case of Andorra*. University of Andorra, Sant Julià de Lòria. Tesi doctoral.

industrial (ICM) té un pes marginal en el consum d'aigua per a usos consumptius. No obstant això, aquest sector usa una fracció essencial de l'aigua pel que fa als usos no consumptius (per generar electricitat). El sector residencial (HH) té una ràtio d'ús d'aigua per hora d'activitat humana més de 10 vegades inferior a l'ús d'aigua per hora en el PW. Això es deu al fet que les activitats en el sector residencial cobreixen el 67% del pressupost total de temps a Andorra (uns 893 milions d'hores a partir d'una estimació de la població equivalent multiplicada per 8.760 hores per persona/any).

3.3. Anàlisi d'externalització

Com s'ha comentat prèviament en la secció 2, una de les característiques de la metodologia MuSIASEM consisteix en la necessitat de considerar diferents escales d'anàlisi. Donada la dependència dels requeriments metabòlics, tant d'energia exosomàtica com endosomàtica, d'importacions per al cas andorrà, una anàlisi d'externalització és rellevant per a una millor discussió sobre la sostenibilitat d'Andorra i sobre com aquesta sostenibilitat depèn d'altres territoris. El sector energètic d'Andorra només produeix al voltant del 20% de l'electricitat que el país consum dins de les seves fronteres (Miquel et al., 2021), mentre que el 80% restant és importat d'Espanya i França. Al seu torn, tots els productes derivats del petroli (per a les funcions de *heat* i *fuel*) són importats. Pel que fa al sector agrícola, excepte per una petita producció de carn, els requeriments del metabolisme endosomàtic d'Andorra depenen d'importacions de productes alimentaris tant d'origen vegetal com animal (Govern d'Andorra, 2020). En aquest apartat es presenten els resultats d'una anàlisi d'externalització que compara l'ús o la generació de diferents atributs biofísics dins de les fronteres d'Andorra pels seus sectors energètic i agrícola amb la quantitat d'aquests elements que han estat utilitzats per produir les importacions de productes energètics i de menjar que complementen les quantitats produïdes a l'interior del país i permeten mantenir els requeriments metabòlics expressats en la taula 1. En particular, els atributs considerats són: (i) *human activity* (hores de treball); (ii) *land use* (necessitats de terra); (iii) *water* (extracció d'aigua), i (iv) *emissions* (emissions de gasos d'efecte d'hivernacle). L'externalització és expressada usant els valors associats a dos *end-use matrix* (local i externa) caracteritzant la *viability* i comptabilitzant l'ús d'activitat humana i terra. Al seu torn, dos *environmental pressure matrix*

(local i externa) caracteritzen la *feasibility* comptabilitzant l'ús d'aigua i la generació d'emissions.

La figura 1 compara les necessitats de diferents elements biofísics utilitzats en el sector energètic d'Andorra amb les quantitats necessàries per produir els productes energètics importats, i. e. *electricity from France* (electricitat importada de França), *electricity from Spain* (l'electricitat importada d'Espanya) i *oil products* (productes derivats del petroli com gasolina, dièsel i fuel per a calefacció). Com a resultat, Andorra externalitza:

- 7 vegades les hores treballades en el sector energètic d'Andorra.
- 40 vegades la terra utilitzada per a la producció de l'electricitat local.
- 6 vegades l'aigua extreta localment per a la generació d'energia.
- 17 vegades les emissions generades pel seu sector energètic local.

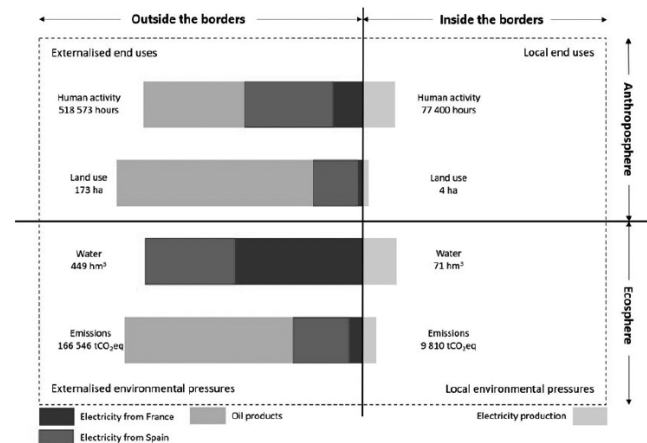
Aquesta quantificació contrasta amb els resultats obtinguts per a un conjunt de països europeus en els quals es constata la baixa dependència de treball virtual en el sector energètic, excepte per als Països Baixos, que externalitzen tres vegades les hores invertides en el seu sector energètic local. A més, per al conjunt de països de la Unió Europea, de mitjana la comptabilitat de les emissions externalitzades augmenta les emissions totals en només un 60% (Ripa *et al.*, 2021).

LARRABEITI-RODRIGUEZ, J. J. (2021). *Integrated analysis of the water-energy-food nexus of Andorra under the MuSIASEM approach for the transition to a more sustainable model*. University of Andorra, Sant Julià de Lòria. Disponible en: <https://biblio.uda.ad/modules/biblio/s/view.php?id=J3Z8WK52EBAOMCGL0NEVUTSXLPEBNWKG#item-one>

LARRABEITI-RODRIGUEZ, J. J. & VELASCO-FERNÁNDEZ, R. (2022). Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM) revisited: synthesizing and updating the theoretical foundations. *Journal of Critical Economics*, 34, 44-68. <https://www.revistaeconomicacritica.org/index.php/rec/article/view/651>

LAWRENCE, M., HOMER-DIXON, T., JANZWOOD, S., ROCKSTÖM, J., RENN, O. & DONGES, J. F. (2024). Global polycrisis: the causal mechanisms of crisis entanglement. *Global Sustainability*, 7, e6. <https://doi.org/10.1017/SUS.2024.1>

Figura 1.
Valors locals i externalitzats en el sector energètic d'Andorra



LOTKA, A. J. (1922). Contribution to the energetics of evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8(6), 147–151. <https://doi.org/10.1073/pnas.8.6.147>

MARTINEZ-ALIER, J. & ROCA-JUSMET, J. (2013). *Economía ecológica y política ambiental*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México.

McKay, D. I. A., STAAL, A., ABRAMS, J. F., WINKELMANN, R., SAKSCHEWSKI, B., LORIANI, S., FETZER, I., CORNELL, S. E., ROCKSTRÖM, J. & LENTON, T. M. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science* (80), 377. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABN7950/SUPPL_FILE/SCIENCE.ABN7950_DATA_S1.ZIP

MIQUEL, C., CUYÀS, M. & BONETA, A. (2021). *Cuarto informe bianual de actualización de Andorra ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Andorra la Vella.

Pel que fa al sector agrícola, la figura 2 compara les necessitats de diferents elements biofísics utilitzats per generar la producció local d'aliments, amb les necessitats d'aquests elements per produir els productes d'origen vegetal (*plant-based products*) i els productes d'origen animal (*animal-based products*) importats i necessaris per al manteniment dels requeriments del metabolisme endosomàtic del país. En aquest sentit, Andorra externalitza:

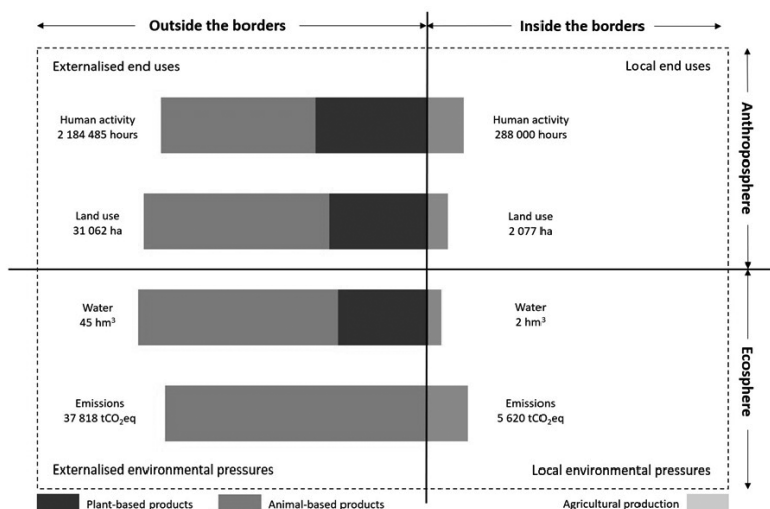
- 8 vegades les hores treballades en el seu sector agrícola.
- 15 vegades l'ús de la terra destinada a fins agrícoles.
- 22 vegades l'aigua consumida pel seu sector agrícola.
- 7 vegades les emissions generades en la producció local de carn.

Alguns d'aquests resultats estan en línia amb els valors per a altres països europeus. Així, els Països Baixos presenten uns valors semblants d'externalització en l'ús de la terra (14 vegades) i el treball agrícola (7 vegades) (Cadillo-Benalcazar et al., 2020).

4. Consideracions finals

Plans per a un desenvolupament més sostenible requereixen anàlisis biofísiques que generin un conjunt d'indicadors a partir dels quals es pugui diagnosticar la situació actual i que

Figura 2.
Valors locals i
externalitzats en el sector
agrícola andorrà



serveixin de base per a la discussió sobre les diferents solucions i la seva implementació. En aquesta ponència s'ha presentat la perspectiva metabòlica i, més concretament, l'anàlisi MuSIASEM, que ha proporcionat una representació multidimensional i sistèmica dels requeriments biofísics que permeten el manteniment i la reproducció d'Andorra, així com la seva especialització funcional, centrant-se en l'energia i l'aigua. Aquesta perspectiva metabòlica incideix en el fet que la transició cap a un model més sostenible, disminuint per exemple la quantitat de recursos energètics utilitzats o canviant les ràtios metabòliques, inevitablement afectarà el que Andorra és i fa. En general, els patrons metabòlics són difícils de canviar, com demostra la literatura sobre metabolisme (Arenas et al., 2022).

A més, l'anàlisi de l'externalització ha posat de manifest l'alta dependència d'Andorra d'altres territoris. Andorra és un clar exemple de sistema complex adaptatiu (Holland, 2006) que utilitza el comerç per mantenir la seva identitat. Així, Andorra pot especialitzar-se en el sector serveis i promoure una imatge de destinació turística associada a una naturalesa "prístina", només perquè externalitza quantitats massives de treball, terra, aigua i emissions. L'opció d'importar permet al país alliberar recursos econòmics (evitant invertir terra i treball per produir productes energètics i aliments) així com reduir l'ús de recursos naturals i la generació de residus (evitant usar l'aigua i la generació d'emissions en l'àmbit local).

Els resultats obtinguts obren una reflexió en relació a les polítiques de descarbonització que suggereix que les emissions que s'externalitzen no són en absolut menyspreables. Al seu torn, assenyalen qüestions ètiques, ja que els processos d'externalització desplacen el deteriorament i els conflictes ambientals fora de les fronteres d'Andorra cap a altres regions.

OSAKA, S. (2022). *Scientists thought carbon emissions had peaked. They've never been higher.* The Washington Post.

<https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2022/12/05/carbon-emissions-peak-record-2022/> En línia; consultat 22-10-2024.

REES, W.E. (1999). The built environment and the ecosphere: a global perspective. *Building Research & Information*, 27(4-5), 206-220

<https://doi.org/10.1080/096132199369336>

RIECHMANN, J. (2024). *Ecologismo: pasado y presente (con un par de ideas sobre el futuro)*. Los Libros de la Catarata, Madrid.

RIPA, M., DI FELICE, L. J. & GIAMPIETRO, M. (2021). The energy metabolism of post-industrial economies. A framework to account for externalization across scales. *Energy*, 214, 118943.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118943>

RUIZ, E., ÁVILA, J. M., VALERO, T., DEL POZO, S., RODRÍGUEZ, P., ARANCETA-BARTIRINA, J., GIL, Á., GONZÁLEZ-GROSS, M., ORTEGA, R. M., SERRA-MAJEM, L. & VARELA-MOREIRAS, G. (2015). Energy Intake, Profile, and Dietary Sources in the Spanish Population: Findings of the ANIBES Study. *Nutrients*, 7(6), 4739-4762.

<https://doi.org/10.3390/NU7064739>

SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY (2024). «The Keeling Curve - Full Record». URL

<https://keelingcurve.ucsd.edu/> En línia; consultat 22-10-2024.

SORMAN, A. H. & GIAMPIETRO, M. (2011). Generating better energy indicators: Addressing the existence of multiple scales and multiple dimensions. *Ecological Modelling*, 223(1), 41-53.

<https://doi.org/10.1016/J.ECOLMO.2011.10.014>

TOLEDO, V.M. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7, 1-26.