

Informe d'abast i metodologia

Impactes i vulnerabilitats del canvi climàtic a Andorra

Sector turisme

Equip de treball

Marc Pons Investigador d'Andorra Recerca + Innovació
Ian Serra Investigador d'Andorra Recerca + Innovació
Oriol Travesset Coordinador de l'eix Sostenibilitat d'Andorra Recerca + Innovació

Andorra Recerca + Innovació agraeix el finançament rebut per part de l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic d'Andorra en el marc de l'estudi d'impactes i vulnerabilitats del canvi climàtic i la capacitat d'embornal d'Andorra



Informe preliminar



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Resum

Aquest informe ofereix l'abast i la metodologia de l'estudi d'impactes i vulnerabilitats del canvi climàtic en el sector turístic d'Andorra, amb un enfocament específic en el turisme d'hivern i de natura/aventura. L'estudi pretén desenvolupar un pla d'adaptació per al sector mitjançant la modelització de variables climàtiques, l'anàlisi de la vulnerabilitat del sector i la definició d'indicadors d'adaptació.

L'informe posa de relleu els possibles efectes negatius del canvi climàtic en el turisme d'hivern a Andorra, com la disminució de les nevades i la fiabilitat de la neu. No obstant, també fa èmfasi en l'adaptabilitat de la demanda de turisme d'hivern i els possibles impactes positius del canvi climàtic en el turisme d'aquest tipus a Andorra en comparació amb les regions veïnes. L'estudi reconeix la necessitat de mesures per mitigar els costos ambientals i econòmics de la producció de neu i abordar els impactes negatius de la sobresaturació en el sector.

A més del turisme d'hivern, l'informe discuteix els possibles efectes del canvi climàtic en el turisme de natura i aventura a Andorra. Esmenta els canvis en els patrons de temperatura i precipitació que podrien afectar la idoneïtat de les condicions climàtiques per a aquestes activitats, i suggereix l'ús d'indicadors de confort tèrmic, com el *Holiday Climate Index* (HCI) o el *Tourism Climate Index* (TCI), per avaluar la idoneïtat de les condicions climàtiques per a les activitats de turisme de natura i aventura.

Sumari

1.	Introducció	5
1.1	Canvi climàtic i turisme.....	5
1.2	Canvi climàtic i turisme de neu	5
1.3	Canvi climàtic i turisme de natura i aventura	7
2.	Abast de l'estudi	9
2.1	Objectius	10
2.2	Actors clau.....	10
2.3	Entitats col·laboradores externes.....	10
3.	Pla de treball	12
3.1	Recopilació de resultats de treballs previs sobre la temàtica.....	12
3.2	Modelització de les variables climàtiques amb afectació a les dinàmiques i infraestructures turístiques.....	12
3.2.1	Projecció i evolució futura de variables climàtiques	12
3.2.2	Projecció i evolució futura d'indicadors claus per l'anàlisi d'impacte sectorial	13
3.3	Anàlisi de vulnerabilitat sectorial.....	18
3.4	Definició del full de ruta i dels indicadors d'adaptació.....	18
3.5	Desplegament del pla d'adaptació i càlcul d'indicadors d'adaptació	19
	Referències	20

1. Introducció

1.1 Canvi climàtic i turisme

En un context de canvi climàtic, les regions de muntanya han estat identificades com a zones especialment vulnerables. El ràpid retrocés de les glaceres i les congestes, la disminució de les precipitacions en forma de neu, l'augment de riscos naturals com poden ser les esllavissades o l'alteració en la quantitat i en la distribució de la biodiversitat, demostren l'alta sensibilitat que caracteritza a aquests ecosistemes. A més, en l'economia de moltes regions de muntanya, la neu i el turisme de natura juguen un paper clau ja que és el recurs sobre el qual es basa una de les seves principals fonts d'ingressos i motors de desenvolupament local. Per aquest motiu, l'avaluació dels efectes del canvi climàtic en la quantitat i la variabilitat temporal de la innivació, la capacitat i sostenibilitat futura de la producció de neu o els canvis en el confort tèrmic per al turisme de natura són especialment necessaris per tal de poder valorar els possibles impactes socioeconòmics en aquest tipus de regions (Pons, López Moreno, et al., 2014; Steiger et al., 2019, 2022).

1.2 Canvi climàtic i turisme de neu

Durant els mesos d'hivern, s'espera que el turisme a les regions de muntanya es vegi afectat negativament a causa de la menor neu i la disminució de la seva fiabilitat, fet que afecta directament als esports d'hivern que depenen d'aquest recurs. La fabricació de neu és capaç de compensar el deteriorament de les seves condicions naturals per a l'esquí alpí i nòrdic a moltes regions durant les properes dècades. Tanmateix, les condicions climàtiques, els recursos hídrics disponibles i els costos poden limitar a llarg termini la idoneïtat d'aquesta tècnica (Steiger et al., 2019).

D'altra banda, s'ha identificat que la demanda turística d'hivern és altament adaptable pel canvi de plans de viatge. Això implica que el deteriorament de les condicions de la neu pugui canviar la distribució geogràfica dels turistes d'hivern. Quan es té en compte el risc climàtic en relació amb els mercats competidors, els impactes econòmics podrien ser positius fins i tot si la fiabilitat de la neu està disminuint. En aquest sentit, certs estudis mostren com regions menys vulnerables que els seus veïns contigus, es veuen beneficiades inicialment per aquesta major resiliència climàtica (Pons, López Moreno, et al., 2014; Scott et al., 2020). No obstant, aquesta casuística, que pot ser amb la que es trobi Andorra en un futur proper, no indica una menor vulnerabilitat climàtica sinó que els reptes i les mesures d'adaptació hauran de ser diferents. Per exemple, posant un especial èmfasi i atenció a la capacitat de càrrega per tal de minimitzar l'impacte del possible increment de fluxos en moments i llocs puntuals.

En estudis precedents, una primera avaluació dels canvis projectats en la innivació natural i la producció de neu a Andorra estimen que amb un increment de +2°C, la reducció de la temporada podria produir una reducció del 2% del nombre total d'esquiadors i facturació. En aquest escenari, la capacitat per produir neu no es veuria significativament afectada (veure Figura 1). En canvi, amb un escenari de +4°C, l'impacte augmentaria fins a una reducció d'un 16% de la freqüentació i la facturació, així com de la capacitat de producció de neu per compensar la disminució de neu natural. Sota aquest escenari, els dies de producció de neu es veurien significativament reduïts, podent només compensar d'un -16% a un -13%. En aquest cas, s'estima que l'impacte econòmic podria estar al voltant d'uns 50 M€ per temporada (Pons-Pons et al., 2012)

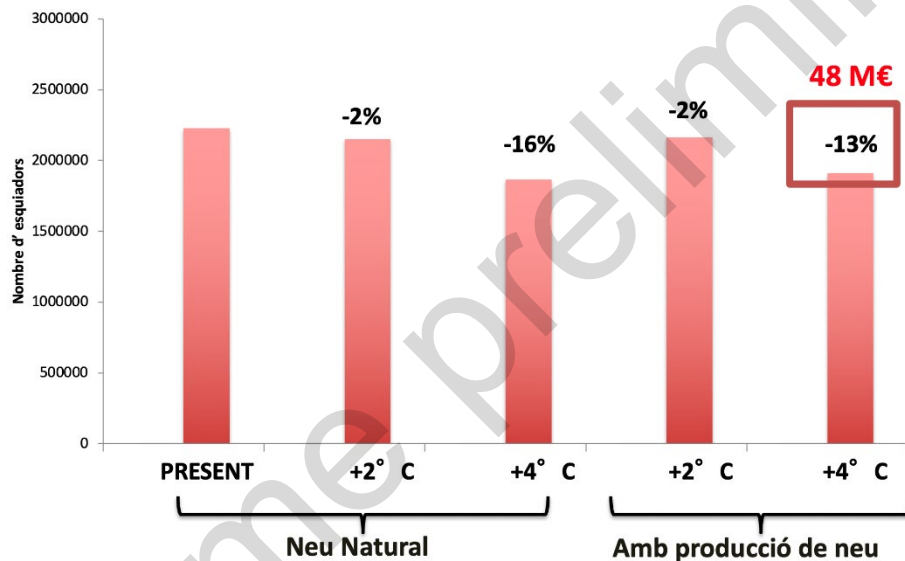


Figura 1. Canvis projectats en la freqüentació d'esquiadors a les estacions d'Andorra en un escenari de +2°C i +4°C en la temperatura mitja durant els mesos d'hivern, tenint en compte només la neu natural i la capacitat de producció de neu. Font: (Pons, Johnson, et al., 2014)

Aquests resultats es basen en una anàlisi exclusivament a escala d'Andorra. No obstant, el 95% dels esquiadors d'Andorra són internacionals. Per a l'anàlisi pertinent i una bona avaluació dels possibles impactes futurs, s'hauria de contemplar el vincle entre els canvis físics a Andorra i la resta d'estacions de la regió pirinenca per tal de tenir en compte l'heterogeneïtat en els canvis físics esperats a aquesta escala. És a dir, la variabilitat dels impactes climàtics portaran a situacions més marginals de la innivació abans a regions frontereres pirinenques que a Andorra, la qual disposarà d'una major resiliència nivològica en el mig termini. Tal com es mostra en la Figura 2, si s'analitzen de nou els canvis esperats en la freqüentació a les estacions d'Andorra, tenint en comte aquesta diferència de vulnerabilitat i contemplant l'atractivitat per la demanda (p. ex. degut a la diversificació turística del país), observem que especialment

en el curt termini, es pot esperar un increment global de la freqüentació degut a la major resiliència climàtica i diversificació del sector a Andorra respecte els seus competidors propers (Pons, Johnson, et al., 2014).

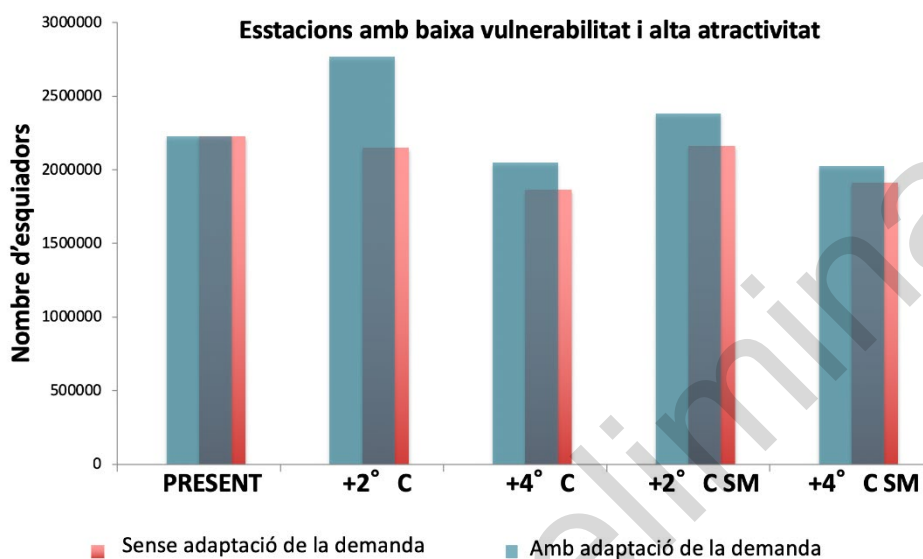


Figura 2. Canvis projectats en la freqüentació d'esquiadors a les estacions d'Andorra en un escenari de +2°C i +4°C en la temperatura mitja durant els mesos d'hivern, tenint en compte només la neu natural i la capacitat de producció de neu (vermell) i tenint en compte la distribució a escala pirinenca de la demanda en funció de les diferències de vulnerabilitat física entre les diferent estacions del Pirineu (barres verdes). Font: (Pons, Johnson, et al., 2014)

Com apuntat anteriorment, aquest escenari es podria llegir com a un impacte positiu del canvi climàtic envers la indústria de l'esquí i del turisme d'hivern a Andorra. No obstant, aquests resultats no han d'emascarar que mitigar la reducció de la neu natural comportarà un increment significatiu en l'ús de recursos (aigua i energia) així com dels seus costos econòmics i ambientals (François et al., 2023; Knowles et al., 2023). Per tant, mesures per pal·liar i fer més sostenible aquesta pràctica seran imperatives per tal de poder fer una adaptació gradual del sector. D'altra banda, aquest possible increment, que de fet ja s'ha pogut constatar en la darrera temporada 2022-2023, portarà a una necessitat de mesures per fer front als impactes ambientals negatius de la sobrefreqüentació (Scott et al., 2020).

1.3 Canvi climàtic i turisme de natura i aventura

Els diferents estudis climàtics globals i especialment els regionals, preveuen que l'augment de la temperatura i els patrons de precipitació alterats afectin el turisme a Europa. Els estudis que investiguen la comoditat tèrmica del cos humà, descobreixen que l'estrès pel fred disminuirà mentre que les condicions amb estrès per calor aniran

en augment. En conseqüència, el turisme a les regions i/o estacions més fredes podria beneficiar-se del canvi climàtic, mentre que a les regions/temporades càlides la disminució del confort tèrmic podria tenir impactes negatius en el turisme (Matzarakis et al., 2007). En aquest sentit, les regions del sud, on les condicions de calor més freqüents provoquen un deteriorament de les condicions durant els mesos d'estiu, es veurien més afectades.

No obstant, a la primavera i a la tardor, els valors d'indicadors que vinculen els factors climàtics al sector turístic com el *Tourism Climate Index* (TCI) o del *Holiday Climate Index* (HCI) milloren a tot Europa, revelant així un potencial per reduir l'estacionalitat turística (Grillakis et al., 2015).

El turisme a les regions de muntanya durant el mig any d'estiu podria beneficiar-se de condicions meteorològiques més càlides i estables, ja que actualment els Alps es perceben com a plujosos i freds (Pröbstl-Haider et al., 2015). Per al Tirol del Sud (Itàlia), per exemple, es preveu un augment de la demanda del 10% fins a la dècada del 2050 (Cavallaro et al., 2017). El turisme de muntanya també es podria beneficiar de l'augment de l'estrès per calor a les zones urbanes, ja que ofereix escapades de calor a més altitud. D'altra banda, la degradació del permafrost i el retrocés de les glaceres està augmentant la dificultat de les rutes alpines altes (Mourey et al., 2020) i afecta negativament l'accessibilitat a alguns refugis i zones clàssiques de muntanya (Mourey & Ravel, 2017).

Aquests impactes tenen conseqüències per a professions com la de guia de muntanya, que s'haurà d'adaptar, principalment per substitució espacial i temporal (canvi d'itineraris i desestacionalització) (Salim et al., 2021), però també per la diversificació de la seva activitat (bicicleta de muntanya, escalada esportiva, etc.).

Pel que fa als impactes del canvi climàtic en el turisme de natura i aventura, fins a la data d'avui no hi ha cap estudi detallat que hagi analitzat les seves implicacions a Andorra. El present estudi d'impactes i vulnerabilitats del canvi climàtic en el sector turístic d'Andorra, té entre els seus objectius fer una primera aproximació en aquest àmbit.

2. Abast de l'estudi

L'estudi pretén, per una banda, fer una revisió de l'estat de l'art dels impactes del canvi climàtic sobre el turisme, tant d'hivern com d'estiu al Principat d'Andorra. D'altra banda, l'estudi vol aprofundir en les mancances de dades i resultats i/o en la seva actualització amb metodologies més recents per tal de tenir una fotografia detallada dels efectes del canvi climàtic sobre les infraestructures i línies dinàmiques turístiques del país.

A partir d'aquest anàlisi d'impactes, es realitzarà una anàlisi de vulnerabilitat i de potencialitats tant del sector del turisme d'hivern, especialment del sector de l'esquí degut al seu pes en l'economia del país, com de la vulnerabilitat i/o potencialitats en el turisme de natura i aventura. La Taula 1 presenta el resum dels potencials perills i impactes del canvi climàtic sobre el turisme de neu i de natura i aventura a Andorra en base a l'estat de l'art presentat en la secció anterior.

Aquests resultats permetran desenvolupar un full de ruta i pla d'adaptació detallat pel sector a Andorra, que s'haurà de treballar de forma consensuada per la seva implementació i posada en marxa a través d'un procés de co-creació i co-desenvolupament.

	Factor climàtic			Potencials impactes
	Variabilitat temperatura	Variabilitat precipitació	Variabilitat vent	
Turisme de neu	Augment t°, sequera	Disminució de precipitacions en forma de neu	Vent intens	Deteriorament de les condicions de la neu. Variabilitat de la freqüentació a curt/mig/llarg termini. Disminució de les hores potencials de producció de neu. Canvis de tendència en els tipus d'allau i en la seva distribució temporal.
Turisme de natura i aventura	Onada de calor, augment t°, incendis	Inundacions, pluja intensa	Vent intens	Aquest tipus de turisme es podria veure beneficiat per condicions més càlides i estables. L'estrès tèrmic en zones urbanes de regions pròximes a Andorra també el podria beneficiar. El possible increment de fenòmens extrems podria tenir una afectació negativa sobre el sector (per exemple condicions climàtiques extremes en activitats turístiques en alta muntanya).
Altres tipus de turisme ¹	Onada de calor, augment t°, sequera	Inundacions, pluja intensa	-	No determinat.

Taula 1. Resum dels potencials perills i impactes del canvi climàtic sobre el turisme de neu i de natura i aventura

¹ Compres, oci cultural, benestar, salut i termalisme, gastronomia, etc.

2.1 Objectius

1. Recopilatori d'estudis i resultats previs disponibles sobre els impactes i la vulnerabilitat del sector del turisme a Andorra enfront el canvi climàtic.
2. Anàlisi de la percepció de la vulnerabilitat del turisme de la població i del sector econòmic enfront el canvi climàtic.
3. Identificació de les variables clau per a la definició de l'exposició i els impactes sobre el turisme.
4. Anàlisi dels impactes i de la vulnerabilitat del turisme d'hivern.
 - a. Modelització i simulació de l'evolució de les temperatures, la precipitació, la coberta i els gruixos de neu i les hores de producció de neu potencials en els diferents dominis del país.
 - b. Projecció futura dels efectes del canvi climàtic sobre la viabilitat potencial (tècnica, econòmica i ambiental) dels dominis esquiables d'Andorra.
 - c. Anàlisi a escala local i regional de la vulnerabilitat i la potencialitat sectorial i socioeconòmica dels sectors.
5. Anàlisi dels impactes i de la vulnerabilitat del turisme de natura i aventura.
 - a. Modelització i simulació de l'evolució de les temperatures, la precipitació, i altres variables climàtiques que puguin afectar les dinàmiques turístiques del turisme de natura i aventura.
 - b. Projecció futura dels efectes del canvi climàtic sobre la dinàmica de fluxos turístics vinculats al turisme de natura i aventura a Andorra.
 - c. Anàlisi a escala local i regional de la vulnerabilitat i la potencialitat sectorial i socioeconòmica dels sectors del turisme de natura i aventura.
6. Desplegament, implementació i seguiment continu del pla d'adaptació sectorial del turisme als efectes del canvi climàtic.

2.2 Actors clau

- Ministeri de Turisme del Govern d'Andorra.
- Departament de Protecció Civil i Gestió d'Emergències del Govern d'Andorra.
- Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat.
- Andorra Turisme, SAU - Direcció de productes i nous projectes.
- Ski Andorra.
- Naturland
- Altres actors turístics del país.

2.3 Entitats col·laboradores externes

Suport en la modelització de les projeccions de neu i producció de neu a les estacions d'esquí d'Andorra.

- Météo France, França

Suport en la modelització de les condicions de neu passades i projectades i en l'anàlisi dels indicadors i impactes tant pel sector de turisme d'hivern com pel de natura i aventura.

- University of Saskatchewan, Coldwater Lab - Centre for Hydrology, Canada
- Universitat d'Innsbruck, Àustria
- Universitat de Waterloo, Canada

Full de ruta, indicadors i pla d'adaptació.

- Agence des Pyrénées, França
- Colorado State University, Estats Units
- Universitat Politècnica de Catalunya - Institut universitari de recerca en Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat (ISST.UPC), Espanya
- Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Espanya

3. Pla de treball

3.1 Recopilació de resultats de treballs previs sobre la temàtica

Duració	12/2022 – 09/2023	Entitats col·laboradores	Météo France, Coldwater Lab University of Saskatchewan, ISST.UPC
---------	-------------------	--------------------------	--

En aquesta primera tasca es recopilaran i endreçaran tots els estudis previs d'abast internacional, nacional i pirinenc que hagin abordat la temàtica dels impactes i la vulnerabilitat del turisme enfront el canvi climàtic.

Metodologia

- Recerca bibliogràfica i documental.
- Recopilació d'estudis, resultats previs i dades potencials d'entrada als models.

Resultats esperats

Estudis, resultats i dades disponibles actualment referents a la temàtica, i identificació de mancances de dades o d'actualització metodològica a fer durant el projecte (inclòs en el present informe).

3.2 Modelització de les variables climàtiques amb afectació a les dinàmiques i infraestructures turístiques

Duració	01/2023 – 03/2024	Entitats col·laboradores	Météo France, Coldwater Lab Universitat Saskatchewan, Universitat d'Innsbruck, ISST.UPC
---------	-------------------	--------------------------	--

3.2.1 Projecció i evolució futura de variables climàtiques

En aquesta tasca es seleccionaran i prepararan els *datasets* de les projeccions futures de canvi climàtic de totes aquelles variables climàtiques² amb potencial afectació sobre el sector.

Metodologia

Recopilació i estructuració dels *datasets* de les modelitzacions recents de variables climàtiques d'Andorra a escala local.

² Les projeccions i variables es veuran més detalladament a l'informe específic sobre clima

- Temperatura màxima, mitjana i mínima.
- Humitat relativa.
- Precipitació.
- Neu natural.

Resultats esperats

Aquesta tasca finalitzarà amb l'obtenció dels *datasets* de les modelitzacions amb la seva projecció futura sota diferents escenaris de l'evolució d'aquestes variables que s'utilitzaran en les modelitzacions i/o en el càlcul d'indicadors d'exposició i de vulnerabilitat sectorial.

3.2.2 Projecció i evolució futura d'indicadors claus per l'anàlisi d'impacte sectorial

En aquesta tasca s'identificaran, es modelitzaran i es projectaran indicadors en diferents escenaris futurs de canvi climàtic tant a escala nacional com a escala de domini esquiable. D'acord al document "Canvi climàtic: components del risc"³, els indicadors identificats es classificaran segons la seva tipologia (i. e. vulnerabilitat, exposició i impacte). Aquests s'inclouran a la base de dades d'indicadors de l'estudi de vulnerabilitats i impactes del canvi climàtic (BD-Indicadors-EVICC⁴).

L'estació escollida on realitzar les modelitzacions és el domini esquiable de Pal-Arinsal. Degut al seu rang altitudinal (1550m-2560m), es considera un cas d'estudi representatiu del país per determinar la vulnerabilitat del sector davant el canvi climàtic. L'estació té prevista una ampliació cap a la zona de Setúria, motiu addicional que aporta major interès de cara a estimar l'impacte del canvi climàtic sobre una nova àrea d'explotació. Aquesta modelització està vinculada a les que es realitzaran en el marc del projecte LIFE Pyrenees4clima⁵ a la subtasca 4.1.1 "*Ski and mountain resorts. Development of a transitional and adapted economic model*" liderada per l'ISST.UPC.

Metodologia

- Evolució futura d'indicadors de neu natural a escala nacional a partir dels proporcionats per ADAMONT-2020⁶ a Andorra.
- Modelització a escala d'estació d'esquí amb models com el CRHM (Rasouli et al., 2022), SkiSim (Steiger, 2009, 2010) i/o el Crocus-Resort (Spandre et al., 2016) amb adaptacions locals dels indicadors identificats. La selecció d'indicadors presentada a continuació està basada en el llistat de la Taula 1.

³ https://ari.ad/images/projectes/evicc/components_risc.pdf

⁴ <https://ari.ad/bd-indicadors-evicc>

⁵ <https://ari.ad/projectes/pyrenees4clima>

⁶ Llistat disponible a https://www.drias-climat.fr/document/Liste_indicateurs_ADAMONT2020_2023-12-04_Pub.pdf

1. Dies de neu en temporada amb més de 5 cm.
2. Dies de neu en temporada amb més de 30 cm.
3. Dies de neu en temporada amb més de 50 cm.
4. Seguiment temporal del primer dia que es supera el llindar de 30 cm.
5. Seguiment temporal del l'últim dia que es supera el llindar de 30 cm.
6. Nombre de dies que es superen els nivells marcats pels indicadors 1, 2 i 3 durant el període de Nadal.
7. Nombre de dies que es superen els nivells marcats pels indicadors 1, 2 i 3 durant el període del Pont de la Puríssima.
8. Hores potencials de producció de neu a nivell diari.
9. Hores potencials de producció de neu a -2°C .
10. Hores potencials de producció de neu a -5°C .

List and definition of the 39 indicators.

Category	Name	Definition
PR	snowfall-amount-winter	Sum of snow precipitation, from November of year N to following April (included)
	precipitation-amount-winter:	Sum of total precipitation, from November of year N to following April (included)
Tas	tas-11:	Mean temperature for November of year N
	tas-12:	Mean temperature for December of year N
	tas-01:	Mean temperature for January of year N
	tas-02:	Mean temperature for February of year N
	tas-03:	Mean temperature for March of year N
	tas-04:	Mean temperature for April of year N
	tas-winter:	Mean temperature for November of year N to April of year N + 1 (included)
SD	sd-days-05-NS	Number of days with at least 5 cm of natural snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-05-GS	Number of days with at least 5 cm of groomed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-05-MS	Number of days with at least 5 cm of managed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-30-NS	Number of days with at least 30 cm of natural snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-30-GS	Number of days with at least 30 cm of groomed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-30-MS	Number of days with at least 30 cm of managed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-50-NS	Number of days with at least 50 cm of natural snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-50-GS	Number of days with at least 50 cm of groomed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-50-MS	Number of days with at least 50 cm of managed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	sd-days-Xmas-NS	Number of days with at least 30 cm of natural snow on the ground, from December 22 of year N to January 4 (included) of year N + 1
	sd-days-Xmas-GS	Number of days with at least 30 cm of groomed snow on the ground, from December 22 of year N to January 4 (included) of year N + 1
	sd-days-Xmas-MS	Number of days with at least 30 cm of managed snow on the ground, from December 22 of year N to January 4 (included) of year N + 1
	sd-days-PUR-NS	Number of days with at least 30 cm of natural snow on the ground, from December 4 of year N to December 10 of year N (included)
	sd-days-PUR-GS	Number of days with at least 30 cm of groomed snow on the ground, from December 4 of year N to December 10 of year N (included)
	sd-days-PUR-MS	Number of days with at least 30 cm of managed snow on the ground, from December 4 of year N to December 10 of year N (included)
SWE	swe-days-100-NS	Number of days with an amount of at least 100 kg m^{-2} of natural snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	swe-days-100-GS	Number of days with an amount of at least 100 kg m^{-2} of groomed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	swe-days-100-MS	Number of days with an amount of at least 100 kg m^{-2} of managed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	swe-days-120-NS	Number of days with an amount of at least 120 kg m^{-2} of natural snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	swe-days-120-GS	Number of days with an amount of at least 120 kg m^{-2} of groomed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
	swe-days-120-MS	Number of days with an amount of at least 120 kg m^{-2} of managed snow on the ground, starting on August 1st of year N to July 31st of year N + 1
MM-PROD	mm-prod	Annual amount of machine made snow produced (in kg m^{-2}), from August 1st of year N to July 31st of year N + 1
WBT:	wbt-2-hrs	Early season potential snowmaking hours (for wet bulb temperature lower than -2°C), from November 1st, year N to December 31st, year N.
	wbt-5-hrs	Early season potential snowmaking hours (for wet bulb temperature lower than -5°C), from November 1st, year N to December 31st, year N.
BS-ES:	beginning-season-30-NS	Beginning of season, i.e. first date of the longest continuous period with at least 30 cm of natural snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)
	end-season-30-NS	End of season, i.e. last date of the longest continuous period with at least 30 cm of natural snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)
	beginning-season-30-GS	Beginning of season, i.e. first date of the longest continuous period with at least 30 cm of groomed snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)
	end-season-30-GS	End of season, i.e. last date of the longest continuous period with at least 30 cm of groomed snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)
	beginning-season-30-MS	Beginning of season, i.e. first date of the longest continuous period with at least 30 cm of managed snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)
	end-season-30-MS	End of season, i.e. last date of the longest continuous period with at least 30 cm of managed snow on the ground (from August 1st of year N to July 31st of year N + 1)

Taula 2. Llistat d'indicadors per caracteritzar la relació entre condicions climàtiques i el turisme d'hivern i de muntanya. Font: (Morin et al., 2021)

- Índex calculat a partir dels indicadors inclosos en les modelitzacions anteriors.

11. *Snow Reliability Index (%)*: Les condicions simulades de la neu estan associades a cada píxel dins d'una estació d'esquí determinada en funció de les seves principals característiques geogràfiques (p. ex. elevació, angle de pendent, orientació) i si el píxel es troba dins de l'envoltori de producció de neu. En base a això, l'*Snow reliability index* es defineix com la fracció de l'àrea formada pels píxels mencionats anteriorment, amb una quantitat mínima de neu per a la pràctica de l'esquí (100 kg/m², equivalent a 20 cm de neu a una densitat típica de 500 kg/m³ a les pistes). Així doncs, l'*Snow reliability index* d'una estació (veure Figura 3) es deriva de la mitjana dels índexs diaris de les vacances de Nadal (del 20 de desembre al 5 de gener) i de febrer (del 5 de febrer al 5 de març), amb un pes del 17% en el període de Nadal i un pes del 83% en el període de febrer (Spandre et al., 2019).

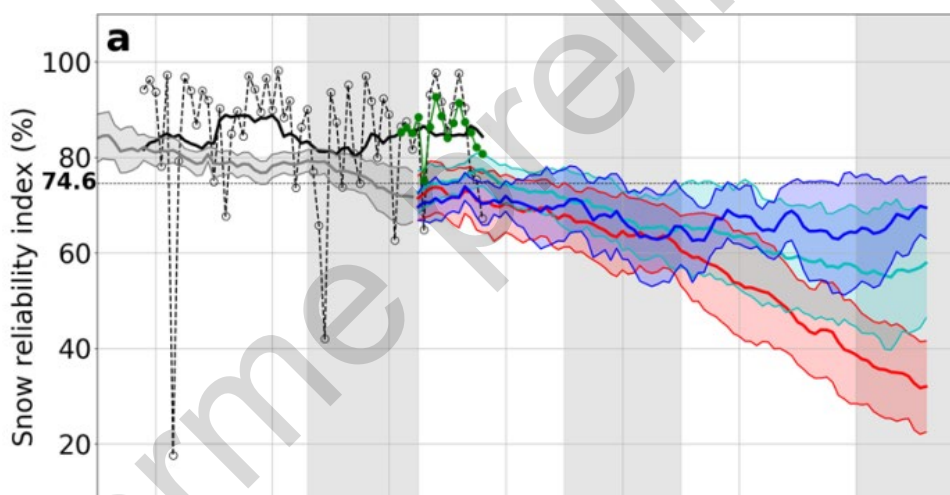


Figura 3. Exemple de projecció de viabilitat d'una àrea d'esquí en funció de les projeccions futures de neu natural i tècnica a través de l'*Snow reliability index*. Font: (Spandre et al., 2019)

- Càlcul d'indicadors de confort tèrmic per avaluar els canvis projectats en la idoneïtat de les condicions climàtiques per la pràctica d'activitats de turisme de natura i aventura⁷.

12. *Tourism Climate Index (TCI)*: El TCI engloba cinc subíndexs ponderats: l'índex de confort diürn (ICD), que és una combinació de la

⁷ És important destacar que a dia d'avui, alguns d'aquests indicadors no són calculables a escala andorrana degut a una manca de correspondència entre certes variables climàtiques. En aquest sentit, el HCI, el CCI i el *Optimised Index* formen part de l'estat de l'art d'indicadors d'interès pel sector del turisme de natura i aventura (Ma et al., 2023) però, pel moment, no són calculables a Andorra.

temperatura màxima diària (°C) i la humitat relativa mínima diària (%); l'índex de confort diari (CIA), que és una combinació de la temperatura mitjana diària (°C) i la humitat relativa mitjana diària (%); precipitació (mm); hores de sol i; vent (km/h o m/s). El pes més alt es dona l'ICD (50%) per reflectir el fet que els turistes són més actius durant el dia. Les variables d'hores de sol i precipitació reben el segon pes més alt (20% cadascuna), seguides de la velocitat del vent (10%). A cadascun dels subíndexs se li assigna una puntuació de valoració màxima de 5 per fer que la puntuació màxima sigui de 100 (ideal per al turisme) i la puntuació mínima sigui de 30 (impossible per al turisme) en base a l'índex calculat (Mieczowski, 1985). Cal mencionar que una de les principals mancances del TCI és l'escala temporal que fa servir -mitjanes mensuals-. Per aquesta raó, el càlcul d'aquest índex es farà a través d'una adaptació a escala diària, el que permetrà determinar el nombre de dies favorables per al turisme en comptes d'un valor mitjà (Perch-Nielsen et al., 2010).

13. *Holiday Climate Index* (HCI): El HCI és un indicador bioclimàtic que té en compte diferents variables climàtiques (temperatura, precipitació, humitat, vent i nuvolositat), amb la finalitat de determinar si les condicions climàtiques són adequades per a les activitats turístiques a l'estiu. Incorpora el confort tèrmic (CT), el qual representa el resultat de la combinació de la temperatura màxima per al propi dia (°C) i la humitat relativa mitjana (%). El component estètic (E) correspon a la cobertura nuvolosa (%), i el físic (F) és el resultat de la combinació de la precipitació (mm) i de la velocitat del vent (km/h). Cada variable es classifica del 0 al 10 i la puntuació final de l'HCI té un rang de 0 a 100. Un 40% del pes s'atorga al CT, un 20% al component E, un 30% a la precipitació i un 10% al vent, atorgant un 40% a F (Díaz-Poso et al., 2023). Aquest índex està basat en les preferències climàtiques dels turistes i es va desenvolupar de cara a cobrir les limitacions del TCI⁸ (Scott et al., 2016).

⁸ Segons Scott et al. (2016), aquestes són: (1) el sistema de valoració i ponderació subjectiva de les variables climàtiques no s'ha contrastat empíricament amb les preferències dels turistes o amb altres indicadors de rendiment turístic; (2) el TCI obvia la possibilitat d'una influència dominant dels paràmetres climàtics físics (com la pluja, el vent) amb una sobre-èmfasi específica en el confort tèrmic, que representa la meitat del pes de l'índex; (3) la baixa resolució temporal de les dades climàtiques (dades mensuals) té una rellevància limitada per a la presa de decisions dels turistes; i (4) ignora els requisits climàtics variables dels principals segments turístics i tipus de destinacions (com ara les destinacions de platja, urbanes i d'esports d'hivern).

14. *Camping Climate Index (CCI)*: Acampar és una activitat única en comparació amb altres activitats turístiques perquè és una activitat a l'aire lliure, es pernocta i està estretament relacionat amb altres activitats a l'aire lliure, com ara el senderisme o els esports aquàtics. De fet, alguns autors consideren que el vincle entre acampar i altres activitats d'oci a l'aire lliure fa que es puguin interrelacionar i intercanviar. El CCI explora tres components climàtics diferents: tèrmic, físic i estètic. El component tèrmic està compost pel confort tèrmic, temperatures mínimes i temperatures màximes; el component físic està compost per precipitacions i vent; el component estètic inclou el nombre d'hores de sol. El càlcul del CCI implica cinc passos principals: (1) Recollir dades climàtiques diàries; (2) Realitzar correlacions iteratives per determinar els llindars i ponderacions de les diverses variables climàtiques; (3) Realitzar anàlisis de regressió per determinar la significativitat relativa de les variables climàtiques; (4) Crear una equació pel CCI d'acord amb els resultats de les regressions; (5) Integar llindars climàtics a l'equació CCI (Ma et al., 2020).

15. *Optimised Index*: Aquest índex aplica una rutina d'optimització sobre l'HCI per millorar la seva viabilitat i adaptabilitat sense posar en risc la integritat estructural del propi índex. Aquesta rutina utilitza condicions climàtiques observades i dades de visitants per definir els llindars dels subíndexs, el seu pes i les seves notes corresponents a nivell diari. La rutina d'optimització està orientada a maximitzar els valors més representatius entre els visitants diürns durant els mesos de Juny a Setembre. La rutina utilitza un algoritme general de gradient reduïda (GRG2) estandarditzat per Microsoft Excel de cara a identificar simultàniament valors llindar i les notes dels subíndexs. Aquesta rutina s'aplica per a cada subíndex de manera seqüencial per maximitzar l'encaix entre les notes dels subíndexs i els visitants (Matthews et al., 2021).

Resultats esperats

Projecció futura sota diferents escenaris de l'evolució dels indicadors tant del turisme de neu com de natura i aventura.

3.3 Anàlisi de vulnerabilitat sectorial

Duració	03/2024 – 10/2024	Entitats col·laboradores	Agence des Pyrénées
---------	-------------------	--------------------------	---------------------

En base als resultats de les seccions anteriors s'analitzarà, amb una contextualització d'altres indicadors de caire socioeconòmic, la vulnerabilitat del sector del turisme tant d'hivern com de natura i aventura.

Metodologia

Metodologia consistent en cinc passos per a l'anàlisi de la vulnerabilitat del sector turisme: (1) Anàlisi dels sistemes, (2) Identificació dels sub-sistemes d'activitat, (3) Avaluacions de vulnerabilitat per als diferents sub-sistemes, (4) Integració per a la destinació i anàlisi d'escenaris, (5) Comunicació (*Moreno & Becken, 2009*). S'adaptarà la metodologia a zones de muntanya fixant com a activitats principals el turisme de neu, i de natura i aventura.

Resultats esperats

Anàlisi de la vulnerabilitat sectorial sota diferents escenaris climàtics i socioeconòmics.

3.4 Definició del full de ruta i dels indicadors d'adaptació

Duració	10/2024 – 12/2024	Entitats col·laboradores	ISST.UPC, INEFC i Agence des Pyrénées
---------	-------------------	--------------------------	---------------------------------------

En base als indicadors d'impacte i l'anàlisi de vulnerabilitat es desenvoluparà un full de ruta d'adaptació sectorial i un seguit d'indicadors de seguiment per monitoritzar l'adaptació del sector de forma contínua.

Metodologia

- Treball amb enquestes focus grup amb actors del sector per la definició del full de ruta sectorial.
- Treball amb enquestes focus grup amb actors del sector per la definició dels indicadors.
- Recolzament sobre les metodologies utilitzades durant el projecte POCTEFA PITON⁹.

⁹ <https://www.ari.ad/projectes/piton>

3.5 Desplegament del pla d'adaptació i càlcul d'indicadors d'adaptació

Duració	10/2024 – continu	Entitats col·laboradores	Ministeri de Turisme, Andorra Turisme, Ski Andorra, ISST.UPC, INEFC i Agence des Pyrénées
---------	-------------------	--------------------------	---

Desplegament d'una metodologia de monitorització continua de l'adaptació del sector i del desplegament i implementació del pla d'adaptació sectorial.

Metodologia

- Creació d'una comissió científic-tècnica i d'actors del sector.
 - Recopilació sistemàtica de dades i indicadors.
 - Avaluació i adaptació contínua del pla d'adaptació sectorial.

Resultats esperats

Desplegament d'un equip de treball interinstitucional que permeti el seguiment i la implementació del pla d'adaptació.

Referències

- Cavallaro, F., Ciari, F., Nocera, S., Prettenhaler, F., & Scuttari, A. (2017). The impacts of climate change on tourist mobility in mountain areas. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(8), 1063–1083. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1253092>
- Díaz-Poso, A., Royé, D., & Martínez-Ibarra, E. (2023). Tourism and Climate Change: Application of the Holiday Climate Index (HCI:Urban) in Spain in the summer months for the mid and late century. *Cultura de Los Cuidados*, 26, 274–296. <https://doi.org/10.14198/INTURI.23493>
- François, H., Samacoïts, R., Bird, D. N., Köberl, J., Prettenhaler, F., & Morin, S. (2023). Climate change exacerbates snow-water-energy challenges for European ski tourism. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01759-5>
- Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G., & Tsanis, I. K. (2015). The 2 °C global warming effect on summer European tourism through different indices. *International Journal of Biometeorology*, 60(8), 1205–1215. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1115-6>
- Knowles, N., Scott, D., & Steiger, R. (2023). Sustainability of snowmaking as climate change (mal)adaptation: an assessment of water, energy, and emissions in Canada's ski industry. *Current Issues in Tourism*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/13683500.2023.2214358>
- Ma, S., Craig, C. A., & Feng, S. (2020). The Camping Climate Index (CCI): The development, validation, and application of a camping-sector tourism climate index. *Tourism Management*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104105>
- Ma, S., Craig, C. A., Feng, S., & Liu, C. (2023). Climate resources at United States National Parks: a tourism climate index approach. *Tourism Recreation Research*, 48(5), 710–724. <https://doi.org/10.1080/02508281.2021.1946652>
- Matthews, L., Scott, D., & Andrey, J. (2021). Development of a data-driven weather index for beach parks tourism. *International Journal of Biometeorology*, 65(5), 749–762. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01799-7>
- Matzarakis, A., Georgiadis, T., & Rossi, F. (2007). Thermal bioclimate analysis for Europe and Italy. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica C*, 30(6), 623–632. <https://doi.org/10.1393/ncc/i2007-10268-0>
- Mieczowski, Z. (1985). *The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism*. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x>
- Moreno, A., & Becken, S. (2009). A climate change vulnerability assessment methodology for coastal tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 17(4), 473–488. <https://doi.org/10.1080/09669580802651681>

- Morin, S., Samacoïts, R., François, H., Carmagnola, C. M., Abegg, B., Demiroglu, O. C., Pons, M., Soubeyroux, J. M., Lafaysse, M., Franklin, S., Griffiths, G., Kite, D., Hoppler, A. A., George, E., Buontempo, C., Almond, S., Dubois, G., & Cauchy, A. (2021). Pan-European meteorological and snow indicators of climate change impact on ski tourism. *Climate Services*, 22, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100215>
- Mourey, J., Perrin-Malterre, C., & Ravanel, L. (2020). Strategies used by French Alpine guides to adapt to the effects of climate change. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 29, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100278>
- Mourey, J., & Ravanel, L. (2017). Evolution of Access Routes to High Mountain Refuges of the Mer de Glace Basin (Mont Blanc Massif, France). *Revue de Géographie Alpine*, 105–4. <https://doi.org/10.4000/rga.3790>
- Perch-Nielsen, S. L., Amelung, B., & Knutti, R. (2010). Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index. *Climatic Change*, 103(3), 363–381. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9772-2>
- Pons, M., Johnson, P. A., Rosas, M., & Jover, E. (2014). A georeferenced agent-based model to analyze the climate change impacts on ski tourism at a regional scale. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(12), 2474–2494. <https://doi.org/10.1080/13658816.2014.933481>
- Pons, M., López Moreno, J. I., Esteban Vea, P., Macià, S., Gavaldà, J., García Olalia, C., Rosas Casals, M., & Jover, E. (2014). Climate change influence on winter tourism in the Pyrenees. Experience from the NIVOPYR. *Pirineos*, 169(169), 1–12. <https://doi.org/doi:http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2014.169006>
- Pons-Pons, M., Johnson, P. A., Rosas-Casals, M., Sureda, B., & Jover, È. (2012). Modeling climate change effects on winter ski tourism in Andorra. *Climate Research*, 54(3), 197–207. <https://doi.org/10.3354/cr01117>
- Pröbstl-Haider, U., Haider, W., Wirth, V., & Beardmore, B. (2015). Will climate change increase the attractiveness of summer destinations in the European Alps? A survey of German tourists. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 11, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2015.07.003>
- Rasouli, K., Pomeroy, J. W., & Whitfield, P. H. (2022). The sensitivity of snow hydrology to changes in air temperature and precipitation in three North American headwater basins. *Journal of Hydrology*, 606, 127460. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127460>
- Salim, E., Ravanel, L., Bourdeau, P., & Deline, P. (2021). Glacier tourism and climate change: effects, adaptations, and perspectives in the Alps. *Regional Environmental Change*, 21(4). <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01849-0>

- Scott, D., Rutty, M., Amelung, B., & Tang, M. (2016). An inter-comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmosphere*, 7(6), 80. <https://doi.org/10.3390/atmos7060080>
- Scott, D., Steiger, R., Rutty, M., Pons, M., & Johnson, P. (2020). Climate change and ski tourism sustainability: An integrated model of the adaptive dynamics between ski area operations and skier demand. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su122410617>
- Spandre, P., François, H., Verfaillie, D., Lafaysse, M., Déqué, M., Eckert, N., George, E., & Morin, S. (2019). Climate controls on snow reliability in French Alps ski resorts. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44068-8>
- Spandre, P., Morin, S., Lafaysse, M., Lejeune, Y., François, H., & George-Marcelpoil, E. (2016). Integration of snow management processes into a detailed snowpack model. *Cold Regions Science and Technology*, 125, 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.01.002>
- Steiger, R. (2009). SkiSim - A tool to assess the impact of climate change on ski season length and snowmaking. *International Snow Science Workshop*, 239–243.
- Steiger, R. (2010). The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria. *Climate Research*, 43(3), 251–262. <https://doi.org/10.3354/cr00941>
- Steiger, R., Demiroglu, O. C., Pons, M., & Salim, E. (2022). Climate and carbon risk of tourism in Europe. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–31. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2163653>
- Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., & Aall, C. (2019). A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism*, 22(11), 1343–1379. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1410110>