



Ivan Paz i Viñas

Resum

Aquesta ponència aborda els reptes de la preservació de la biodiversitat d'aigua dolça en un context de canvis globals mitjançant exemples d'estudis de casos, com la conservació del cranc de riu de potes blanques en un rierol, la gestió d'espècies exòtiques invasores en una xarxa de llacs artificials o els impactes d'espècies introduïdes com el silur (*Silurus glanis*) en la biodiversitat aquàtica. Es destaca la importància d'enfocaments multidisciplinaris per abordar la degradació de la biodiversitat i desenvolupar estratègies de conservació eficaces.

Ponència

La biodiversitat és un concepte que reuneix la diversitat de totes les formes de vida. Segons la definició donada per la Convenció sobre la Diversitat Biològica, la biodiversitat es compon de tres nivells principals: (1) la diversitat ecosistèmica (és a dir, la varietat d'ecosistemes en un territori o regió, com ara els rius o els llacs en el cas dels ecosistemes aquàtics d'aigua dolça), (2) la diversitat específica, que representa la diversitat (o nombre) d'espècies i les seves abundàncies relatives, i (3) la diversitat genètica, que representa les variacions de la composició genètica dels individus dins d'una població, d'una espècie, o entre poblacions i espècies.

En reflexionar sobre com es distribueix la biodiversitat al planeta, és fàcil adonar-se que la distribució de la biodiversitat és heterogènia. Per exemple, no trobarem la mateixa diversitat al pic del Nevado Mismi, que s'eleva a 5.597 m i dona origen al riu Amazones, i a la seva part avall, que està envoltada de selva tropical. Però tot i que la biodiversitat està distribuïda de manera heterogènia, no està distribuïda de manera aleatòria. Una multitud de factors afecten aquesta distribució. Per exemple, la biodiversitat es distribueix sovint al llarg de gradients geogràfics, formant patrons espacials de biodiversitat particulars. Per exemple, existeix un patró de distribució de la biodiversitat general segons el qual hi ha més espècies a l'equador, i aquest nombre d'espècies disminueix a mesura que ens acostem als pols. També existeix un patró segons el qual el nombre d'espècies disminueix quan es puja en altitud. La distribució de la biodiversitat també està influenciada per factors ambientals i/o biogeogràfics. Per

Doctor en Ecologia, Biodiversitat i Evolució, professor associat al Laboratori d'Ecologia dels Hidrosistemes Naturals i Antropitzats (LEHNA) de la Universitat Claude Bernard Lyon 1 i membre del grup de treball sobre la composició genètica de la xarxa d'observacions de biodiversitat global GEO BON



Ivan Paz i Viñas

**Reptes per
protegir la
biodiversitat
d'aigua dolça a
múltiples escales
en un context de
canvis globals
accelerats**

Bibliografia

- BENAVIDES GUEDES, M., DALL'AGNOL, M., GRANDJEAN, F., PAZ-VINAS, I., & LIPEME KOUYI, G. (2024). "Interdisciplinary approach to manage a peri-urban creek: hydraulic and hydrological modeling of nature-based solutions to recharge the Razes creek while preserving a white-clawed crayfish population". Poster, SFE2 conference, Lyon.
- BOULÉTREAU, S., & SANTOUL, F. (2016). The end of the mythical giant catfish. *Ecosphere* 7, e01606. <https://doi.org/10.1002/ecs2.160>
- CASTAGNE, P., PAZ-VINAS, I., BOULÉTREAU, S., FERRIOL, J., LOOT, G. et al. (2023). Patterns of genetic variation in native and non-native populations of European catfish *Silurus glanis* across Europe. *Biodiversity and Conservation* 32, 2127-2147.
- CHANGEUX, T. (2003). Évolution de la répartition des écrevisses en France Métropolitaine selon les enquêtes nationales mensées par le conseil supérieur de la pêche de 1977 à 2001. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 370-371, 15-41.
- DUDGEON, D. (2019). Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology* 29, R960-967.
- FÜREDER, L., GHERARDI, F., HOLDICH, D., REYNOLDS, J., SIBLEY, P., & SOUTY GROSSET, C. (2010). *Austropotamobius pallipes*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- GARCIA, F., PAZ-VINAS, I., GAUJARD, A., OLDEN, J. D., & CUCHEROUSET, J. (2023). Multiple lines and levels of evidence for avian zoichory promoting fish colonization of artificial lakes. *Biology Letters* 19, 20220533.
- GRANDJEAN, F., ROQUES, J., DELAUNAY, C., PETRUSEK, A., BECKING, T., & COLLAS, M. (2017). Status of *Pacifastacus leniusculus* and its role in recent crayfish plague outbreaks in France: improving distribution and crayfish plague infection patterns. *Aquatic Invasions* 12, 541-549.

exemple, no trobarem la mateixa biodiversitat en un oasi al desert que en un llac situat en una zona temperada o tropical. La biodiversitat no només es distribueix de manera heterogènia i no aleatòria: també és variable en l'espai i en el temps. Per exemple, fa 6.000 anys, un ecosistema de tipus sabana verda ocupava el desert del Sàhara, amb un conjunt d'espècies molt diferent del d'avui. La biodiversitat és, per tant, dinàmica, especialment en els ecosistemes que són també molt dinàmics, com els ecosistemes aquàtics d'aigua dolça. Aquests ecosistemes, amb els seus hàbitats riberencs, són dels més rics en biodiversitat del planeta i presenten valors inestimables en els àmbits econòmic, sanitari, cultural, científic i educatiu. La qualitat i la quantitat d'aigua dolça influeixen en els processos biogeoquímics i les dinàmiques ecològiques que modelen la biodiversitat, la productivitat dels ecosistemes, així com la salut i el benestar dels humans a diferents escales (Hand et al., 2018). No obstant això, les activitats humanes afecten els llacs, els rius, els rierols, les zones humides i les aigües subterrànies provocant una reducció dràstica de la biodiversitat (Dudgeon, 2019).

La biodiversitat d'aigua dolça està en ràpid declivi en tots els continents i en les grans conques fluvials, i aquesta degradació és més ràpida que la dels ecosistemes terrestres (Dudgeon, 2019). En un context de canvis globals accelerats, la preservació de la biodiversitat d'aigua dolça presenta, per tant, diversos reptes que han de ser abordats mitjançant diversos enfocaments de manera integrativa, i això a diverses escales. Em resultarà impossible tractar tots els enfocaments que poden ser desplegats per preservar la biodiversitat d'aigua dolça a diverses escales durant aquesta ponència, però intentaré donar una visió general, presentant algunes de les investigacions multidisciplinàries que hem realitzat amb diversos companys aquests darrers anys en àmbits tant locals com regionals i globals.

La conservació del cranc de riu de potes blanques en el rierol de les Razes

El cranc de riu de potes blanques (*Austropotamobius pallipes*) és una espècie particularment amenaçada i vulnerable a escala europea (fig. 1). Des de finals dels anys 1990, les seves poblacions han experimentat disminucions dràstiques, amb extincions locals observades en diversos departaments francesos (Changeux, 2003). Aquesta tendència s'ha accentuat a partir dels anys 2000, amb una disminució del 50

al 80% de les poblacions en la seva àrea de distribució europea (Füreder et al., 2010). Si aquest ritme d'erosió es manté, aquesta espècie podria desaparèixer d'Europa en unes quantes dècades.

L'ensorrament de les poblacions d'*A. pallipes* és el resultat d'una combinació de factors, principalment la degradació del seu hàbitat i la introducció d'espècies de crancs de riu invasives originàries d'Amèrica del Nord (per exemple, *Procambarus clarkii*, *Pacifastacus leniusculus* o *Faxonius limosus*), més competitives, i que a més són portadores sanes d'un agent patògen (l'oomicet *Aphanomyces astaci*) responsable de la malaltia coneguda com a "pesta del cranc" (Grandjean et al., 2017). Un altre factor que limita la seva distribució és la temperatura de l'aigua, que no ha de superar els 21-22°C a l'estiu. La baixa tolerància a les altes temperatures i a la qualitat de l'aigua de l'*A. pallipes* la converteix en una espècie particularment vulnerable a les alteracions, fent-la molt sensible als canvis climàtics.

Al sud-est de Lió es troba el rierol de les Razes, un petit afluent del riu Yzeron que s'estén al llarg de 489 m. Aquest rierol, ubicat en una zona periurbana, presenta una conca altament impermeable que es divideix en dos seccions: una de "natural" i una altra de completament cimentada (fig. 2). Com a resultat, les pluges es recullen principalment pel sistema de drenatge municipal, fet que impedeix la recàrrega natural del riu i provoca l'esgotament d'aigua durant l'estiu. Aquest fenomen s'ha intensificat els darrers anys i representa una amenaça per al funcionament ecològic del rierol i per a la seva biodiversitat. Fa només deu anys, es va descobrir que aquest rierol alberga l'última població de cranc de riu de potes blanques de la conca de l'Yzeron, on les espècies de cranc de riu invasives proliferen. Pensem que aquesta població s'ha pogut mantenir gràcies al fet que el rierol està connectat a l'Yzeron a través d'una canonada de drenatge situada a més d'un metre d'altura. Aquesta infraestructura ha ajudat a evitar la colonització de les Razes per les espècies de cranc de riu invasores i, per consegüent, per la pesta del cranc, cosa que representa un dels pocs exemples d'efecte positiu de la fragmentació d'un curs d'aigua per a la seva biodiversitat.



Figura 1. Un cranc de riu de potes blanques a la part amunt del rierol de les Razes (Sainte-Foy-lès-Lyon, França). Les anàlisis genètiques ens han indicat que aquesta població no pertany a l'espècie *Austropotamobius pallipes* com es pensava fins ara, sinó a *A. italicus*, una altra espècie del grup de crancs de riu de potes blanques

- GUILLERAULT, N., BOULÉTREAU, S., & SANTOUL, F. (2019). Predation of European catfish on anadromous fish species in an anthropised area. *Marine and Freshwater Research* 70, 682.
- HAND, B. K., FUNT, C. G., FRISSELL, C. A., MUHLFELD, C. C., DEVLIN, S. P. et al. (2018). A social-ecological perspective for riverscape management in the Columbia River Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16, S23-S33.
- INSAVALOR i Sogreah. (1997). CANOE, logiciel d'hydrologie urbaine, conception et évaluation de réseaux d'assainissement, simulation des pluies, des écoulements et de la qualité des eaux, Manuel de l'utilisateur.
- LEIGH, D. M., VAN REES, C. B., MILLETTE, K. L., BREED, M. F., SCHMIDT, C. et al. (2021). Opportunities and challenges of macrogenetic studies. *Nature Reviews Genetics* 22, 791-807.



Figura 2. Rierol de les Razes (Sainte-Foy-lès-Lyon, França) a l'alçada (A) d'una zona "natural" (zona amunt) i (B) d'una zona cimentada i impermeable. La zona A és favorable a la presència del cranc de riu de potes blanques, al contrari de la zona B

1- *Solucions basades en la naturalesa (SBN)*: accions per protegir, gestionar de manera sostenible i restaurar els ecosistemes naturals i modificats que aborden els reptes de la societat de manera efectiva i adaptativa, beneficiant simultàniament les persones i la natura.

Malgrat això, aquesta població de crancs s'enfronta a altres amenaces per a la seva supervivència, com el seu aïllament genètic (a causa de la seva desconexió total respecte d'altres poblacions a França), el risc d'escalfament de l'aigua i l'aparició de períodes de sequera durant els quals l'aigua pot deixar de fluir pel rierol. Per evitar-ho, i per petició del Syndicat d'Aménagement de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC) hem dut a terme, amb companys de l'INSA de Lió i de la Universitat

de Poitiers, un estudi transdisciplinari amb l'objectiu de restaurar les capacitats hidrològiques del rierol de Les Razes sense comprometre les exigències ecològiques de la població de crancs (Benavides, Dall'Agnol et al., 2024). Ho hem fet mitjançant dos estratègies: (1) avaluant la distribució, l'estat de salut genètica i la tolerància de la població de crancs de riu a les variacions de paràmetres fisicoquímics del rierol, i (2) modelitzant hidràulicament la conca del rierol amb el programa CANOE (INSAVALOR i Sogreah, 1997) per simular escenaris de reinjecció d'aigües pluvials i implementar solucions basades en la naturalesa (SBN)¹ per infiltrar-les al rierol (Benavides, Dall'Agnol et al., 2024).

Sense entrar en detalls dels resultats, aquest estudi ha determinat que la població de cranc de riu de potes blanques de Les Razes no pertany a *A. pallipes* com s'esperava, sinó a una altra espècie del mateix grup anomenada *A. italicus*, i que aquesta població presenta nivells de diversitat genètica encara acceptables. La seva distribució al llarg del rierol també ha estat determinada amb precisió gràcies a mètodes d'ADN ambiental, i s'ha fet una proposta d'SBN al SAGYRC per reinjectar aigua de forma que les condicions fisicoquímiques del rierol es mantinguin tolerables per a aquesta espècie durant tot l'any. Aquest estudi interdisciplinari està ajudant el SAGYRC a implementar mesures concretes per millorar l'hàbitat de la població de crancs de riu. És un exemple de com disciplines com l'enginyeria hidrològica, la biologia i l'ecologia molecular

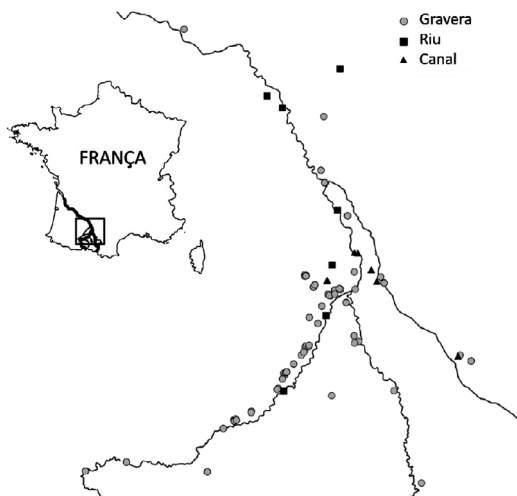
poden col·laborar per protegir la biodiversitat aquàtica d'aigua dolça a escales locals.

Estudiar les invasions biològiques en xarxes d'ecosistemes d'aigua dolça complexes: cas de les graveres al voltant del riu Garona

Identificar els vectors d'introducció d'espècies exòtiques invasores (EEI) és essencial per a la seva gestió efectiva. Els estudis genètics són molt útils per identificar aquests vectors a gran escala (nacional, mundial), però les anàlisis a escala local són encara poc freqüents, malgrat la seva importància en la gestió de les EEI (Paz-Vinas et al., 2021). Encara que els mètodes moleculars poden ajudar a identificar els principals vectors d'introducció, per si sols no poden determinar amb certesa si una introducció o un desplaçament d'individus d'EEI és causat per un vector antropogènic o natural. No obstant això, les eines genètiques són molt efectives per identificar els principals vectors d'introducció quan es combinen les dades genètiques amb informació provinent d'altres enfocaments (com qüestionaris sobre usos i pràctiques) i es valoren en funció de les característiques biològiques de les EEI, així com dels factors ecològics i socioeconòmics dels seus entorns.

Amb companys de la Universitat Paul Sabatier de Tolosa i del CNRS, vam dur a terme un projecte amb l'objectiu principal de generar coneixements que ajudin a optimitzar les mesures reglamentàries i de gestió de les espècies exòtiques invasores (EEI) aquàtiques d'escales locals a regionals, per minimitzar els seus impactes ecològics (Paz-Vinas, Loot i Cucherousset, 2022). Això s'ha aconseguit mitjançant dos estratègies: (1) determinant la contribució relativa dels vectors naturals i antropogènics implicats en la introducció de diverses EEI (peixos i crancs de riu) en una xarxa complexa d'ecosistemes aquàtics artificials, concretament en una xarxa de graveres (antigues mines d'extracció de grava a cel obert o pedreres que s'han transformat en llacs; fig. 3) situada

Figura 3. Situació geogràfica dels 72 indrets mostrejats per estudiar els vectors principals de dispersió de sis espècies exòtiques invasores i una espècie de peix autòctona (modificat a partir de Paz-Vinas, Loot i Cucherousset, 2022). Van ser mostrejats un total de 59 graveres, un embassament, sis indrets en rius i sis indrets situats en canals



LENOIR, J., BERTRAND, R., COMTE, L., BOURGEOUD, L., HATTAB, T. et al. (2020). Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nature Ecology and Evolution* 4, 1044-1059.

ORLOVA, E. L., & POPOVA, O. A. (1987). Age related changes in feeding of catfish, *Silurus glanis*, and pike, *Esox lucius*, in the outer delta of the Volga. *Journal of Ichthyology* 27, 54-63.

ORLOVA, E. L., & POPOVA, O. A. (1976). The feeding of predatory fish, the sheatfish, *Silurus glanis*, and the pike, *Esox lucius*, in the Volga Delta following regulation of the discharge of the river. *Journal of Ichthyology* 16, 75-87.

PAZ-VINAS, I., LANG, I., MILLET, P., VEYSSIÈRE, C., LOOT, G., & CUCHEROUSSET, J. (2021). Inference of local invasion pathways in two invasive crayfish species displaying contrasting genetic patterns. *Journal of Applied Ecology* 58, 2854-2865.

PAZ-VINAS, I., LOOT, G., BOULÉTREAU, S., CHIARELLO, M., & VEYSSIÈRE, C. et al. (2024). Genetic-based inference of densities, effective and census sizes of expanding riverine metapopulations of an invasive large-bodied freshwater fish (*Silurus glanis* L.). BiorXiv preprint doi: 10.1101/2024.04.05.588309.

PAZ-VINAS, I., & SANTOUL, F. (2018). Le silure glane (*Silurus glanis* L.): connaissances et estimation des stocks dans le bassin de la Garonne. Rapport technique UFBAG-AEAG. http://oai.eau-adour-garonne.fr/oai-documents/61884/GED_00000003.pdf

al voltant dels rius Garona i Arieja; i (2) proposant estratègies per prevenir la introducció de noves EEI i gestionar les que ja estan presents.

Per assolir aquests objectius, vam fer qüestionaris per recollir dades sobre les pràctiques i percepcions relatives a les EEI entre gestors de graveres i pescadors. A més, vam dur a terme anàlisis genètiques de sis EEI en un total de 72 indrets diferents (fig. 3): el peix gat negre (*Ameiurus melas*), el peix sol (*Lepomis gibbosus*), el cranc de riu americà (*Procambarus clarkii*), el cranc dels canals (*Faxonius limosus*), la perca americana (*Micropterus salmoides*) i la gambúsia (*Gambusia holbrooki*), juntament amb una espècie nativa, la perca de riu (*Perca fluviatilis*). Totes aquestes dades van ser confrontades amb dades de monitoratge temporal de les comunitats aquàtiques d'aquests indrets, efectuades pels equips de Julien Cucherousset, del CNRS (laboratori CRBE).

Els qüestionaris van revelar diferències significatives en les percepcions entre gestors i pescadors. En particular, vam descobrir que la perca americana és l'única espècie introduïda de manera voluntària durant els repoblaments efectuats pels gestors dels llacs. A més, els pescadors van indicar que introdueixen voluntàriament individus de perca americana als llacs, així com crancs de riu americà i, de manera més anecdòtica, peixos sol, perques comunes i peixos gat negres.

Gràcies a l'anàlisi de marcadors genètics, hem caracteritzat els patrons espacials de variabilitat genètica de les set espècies i hem determinat les mides efectives de les seves poblacions i les migracions recents entre llacs. Hem observat patrons de variabilitat genètica distintius entre les espècies, que suggereixen una història de colonització complexa dins de la xarxa de graveres (vegeu Paz-Vinas et al., 2021, per un exemple detallat sobre els crancs de riu). A més, les anàlisis indiquen que aquesta xarxa és molt dinàmica, amb desplaçaments d'individus de totes les espècies, malgrat la desconexió aparent dels llacs i les diferències en la proporció d'individus migrants i les distàncies recorregudes (Paz-Vinas, Loot i Cucherousset, 2022).

La síntesi de tots els resultats obtinguts a partir de diversos enfocaments ens ha proporcionat una visió clara dels principals vectors d'introducció per a cadascuna de les espècies en aquesta regió (fig. 4). La perca americana sembla ser introduïda principalment de manera voluntària pels

gestors i els pescadors. Altres espècies, com el peix gat i el peix sol, semblen ser introduïdes principalment de manera involuntària per l'home, mentre que la gambúsia i el cranc de riu americà són introduïdes tant accidentalment com voluntàriament pels pescadors. El cranc dels canals també sembla utilitzar aquests mateixos vectors, però la seva baixa variabilitat genètica, juntament amb la possible confusió entre aquesta espècie i el cranc de riu americà per part dels pescadors i gestors entrevistats, dificulta treure conclusions definitives sobre la coocurrència d'aquests vectors (fig. 4). Dos espècies semblen dispersar-se de manera natural en la xarxa de llacs. El cranc de riu americà, per exemple, pot dispersar-se activament entre llacs gràcies a les seves capacitats innates per desplaçar-se fora de l'aigua, mentre que la perca de riu comuna sembla colonitzar els llacs mitjançant processos de zoocòria aviària, és a dir, la dispersió d'individus o d'ous per part d'aus (vegeu Garcia et al., 2023, per a més detalls sobre aquest fenomen).

Estudis com aquest poden servir de base per al desenvolupament futur d'un índex integrador que valori el potencial invasor de diverses espècies i poblacions, facilitant la prioritització d'accions sobre les espècies i poblacions més problemàtiques. Aquest índex podria tenir en compte indicadors genètics obtinguts en el nostre estudi, com la mida eficaç de les poblacions i la riquesa al·lèlica, així com la demografia de les poblacions, l'eficàcia de colonització (distància recorreguda pels migrants, percentatge de migrants de primera generació) i el grau de pertorbació que l'espècie infligeix als ecosistemes (Paz-Vinas, Loot i Cucherousset, 2022).

PAZ-VINAS, I., & SANTOUL, F. (2019). Estimation de la biomasse de migrateurs anadromes consommée par le silure glane (*Silurus glanis* L.) dans la partie aval de la Garonne: approche par couplage de modélisations génétiques et bio-énergétiques. Rapport technique SMEAG-AEAG. https://www.dropbox.com/s/a7m3f3rf12dqn2o/Paz-Vinas_Santoul_SMEAG_Silure_Migrateurs_rapport_Final_revised_bon.pdf?dl=0

PAZ-VINAS, I., LOOT, G., & CUCHEROUSSET, J. (2022). DISPERSINVA: Étude des patrons d'invasion des espèces exotiques envahissantes animales dans le réseau hydrographique de la Garonne. Rapport technique AEAG. https://www.dropbox.com/s/2tqx8wnrxhh2y6/Rapport_DISPERSINV_A.pdf?dl=0

SHEN, M., VAN KLINK, R., SAGOUIS, A., PETSCH, D. K., ABONG'O, D. A. et al. (2024). FRESHLANDIV: A global database of freshwater biodiversity across different land uses. *Global Ecology and Biogeography* e13917.

STOLYAROV, I. A. (1985). Dietary features of catfish, *Silurus glanis*, and pike-perch, *Stizostedion lucioperca*, in Kyzlyarsk Bay, northern Caspian Sea. *Journal of Ichthyology* 25, 140-145.

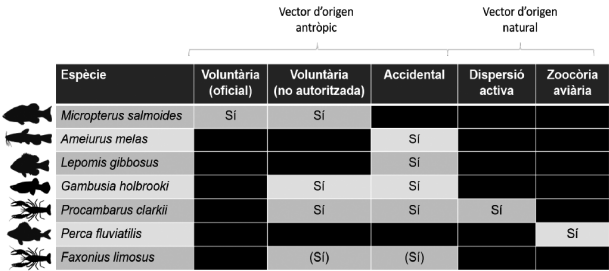


Figura 4. Principals vectors d'introducció i colonització identificats per a cadascuna de les espècies estudiades. Els parèntesis indiquen que no es poden treure conclusions definitives sobre aquests vectors, encara que alguns dels resultats suggereixen la seva la coocurrència (Paz-Vinas, Loot i Cucherousset, 2022)



Figura 5. Il·lustració d'un individu de silur (*Silurus glanis*) (Krüger, Bibliothèque Nationale de France)

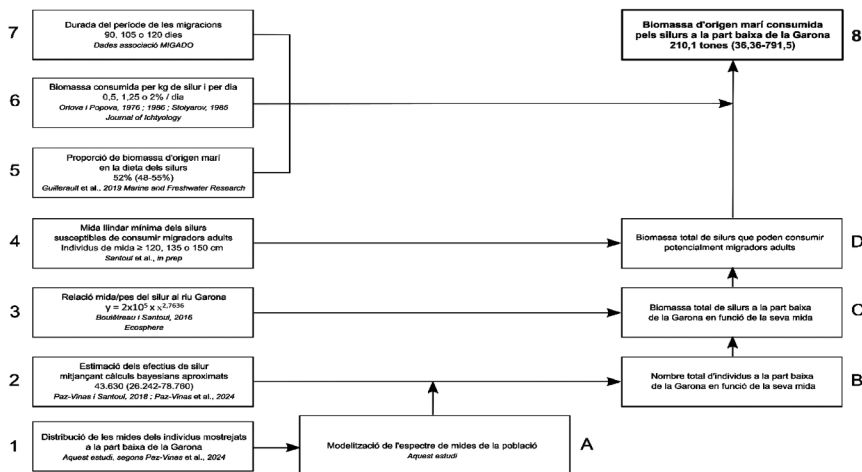
Impactes d'un peix introduït a escala regional i patrons de diversitat genètica a escala europea

El silur (*Silurus glanis*) és el peix d'aigua dolça més gran d'Europa (pot arribar a mesurar més de 2,70 m i pesar més de 130 kg; Boulêtreau i Santoul, 2016; fig. 5). A França, on s'ha introduït àmpliament, el silur pot superar dos vegades la mida dels depredadors d'aigua dolça nadius com el lluç de riu (*Essox lucius*). Aquesta situació incrementa la "mida refugi" de les preses, és a dir la mida màxima a partir de la qual les preses ja no són consumides per un depredador, convertint espècies protegides com les espècies migratòries anàdromes,² que fins ara escapaven de la depredació, en víctimes potencials del silur.

És llavors necessari estudiar els efectes que el silur pot tenir sobre aquestes espècies migratòries, algunes d'elles considerades en risc d'extinció a França. Per això, vam realitzar un estudi amb companys de la Universitat de Tolosa que tenia com a objectiu proporcionar una estimació de la quantitat de biomassa de migradors anàdroms (és a dir, d'origen marí) consumits anualment pels silurs a la part baixa del riu Garona (Paz-Vinas i Santoul, 2019). Per fer aquesta estimació, vam combinar dades provinents de diverses investigacions científiques relatives a la biologia d'aquesta espècie i a l'ecologia de la població de silurs de la Garona (Paz-Vinas i Santoul, 2019; Paz-Vinas et al., 2024). Així, van respondre diverses preguntes preliminars com ara quina és la proporció de biomassa d'origen marí a la dieta dels silurs o quants individus de silur prou grans per poder consumir espècies migratòries es troben a la part baixa de la Garona (fig. 6). La majoria d'aquestes preguntes ja estaven respostes en estudis anteriors, però per poder sintetitzar-les totes vam haver de dur a terme nous estudis, com ara mostres genètics per estimar la talla de la població (Paz-Vinas et al., 2024) i estudis demogràfics per determinar quina és la composició en mides de la població de silurs de la part baixa de la Garona, ja que només els individus d'una certa mida (~135 cm, fig. 6) poden consumir migradors anàdroms.

Així, combinant els resultats dels diversos estudis, hem pogut estimar una quantitat de 210,1 tones de migradors anàdroms adults consumits pel silur cada any (interval de confiança = 36,3-791,5), que representa una quantitat molt important, de deu a vint vegades més que les quantitats que els pescadors professionals poden pescar per any en aquesta conca.

2- Espècies anàdromes: espècies que fan una part del seu cicle de vida al mar i una altra a l'aigua dolça, com ara les aloses, el salmó atlàntic o la llamprea de mar.

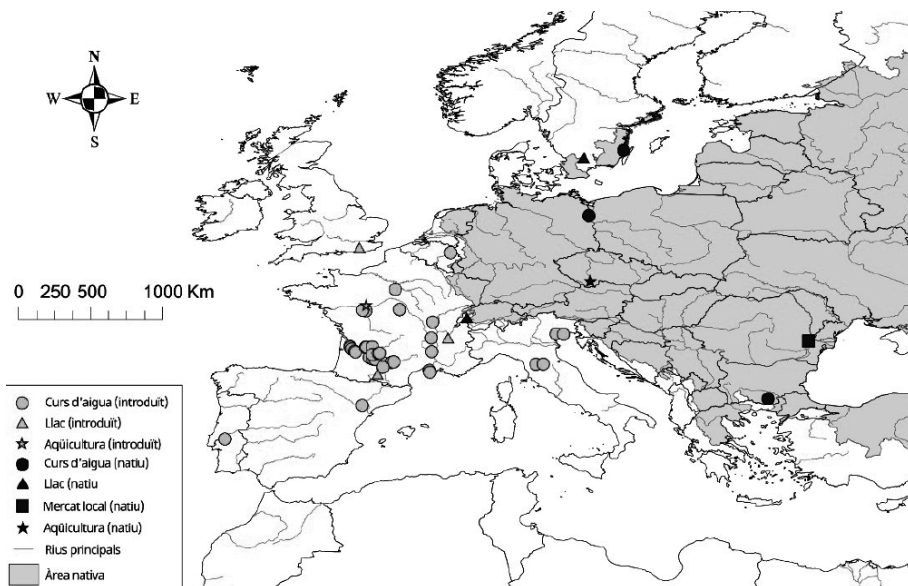


Cal destacar que aquestes estimacions només es refereixen a la biomassa derivada del consum de migradors anàdroms adults i no tenen en compte els impactes potencials sobre els juvenils. A més, els intervals de confiança són voluntàriament grans, ja que tenen en compte els graus d'incertesa propis de cada estudi i paràmetre representats en la fig. 6. Tanmateix, aquestes primeres estimacions suggereixen que el silur té un impacte significatiu sobre les poblacions d'espècies migratòries anàdromes adultes a la part baixa de la Garona i haurien d'incitar i ajudar a desenvolupar accions i polítiques adaptades a la gestió de les poblacions de silur i de les espècies migratòries.

Alguns països europeus on el silur ha estat introduït, com ara Portugal, Espanya o Itàlia, ja el consideren una espècie invasora i estan desplegant esforços importants per gestionar-la. Paradoxalment, algunes poblacions dins de l'àrea nativa han patit descensos demogràfics dràstics durant les darreres dècades (Castagné et al., 2023). El silur europeu representa, doncs, un model biològic interessant per estudiar simultàniament les poblacions natives, importants per a la conservació, i les poblacions introduïdes, potencialment invasores. Així, vam dur a terme un estudi genètic a escala europea per obtenir una instantània dels patrons espacials de variabilitat genètica i de les relacions genètiques entre les poblacions introduïdes i natives d'aquesta espècie (fig. 7,

Figura 6. Representació esquemàtica de les diferents etapes necessàries per a l'estimació de la biomassa total d'origen marí (i, per tant, de migradors anàdroms) consumida anualment per la població de silurs de la part baixa de la Garona (punt 8). Els punts 1 a 7 corresponen a les diferents etapes i informacions obtingudes a partir de diversos estudis sobre la biologia i l'ecologia del silur. Les lletres de la A a la D, representades en blau, corresponen a etapes de càlcul intermèdies (Paz-Vinas i Santoul, 2019)

Figura 7. Mapa de la ubicació de les mostres de silur europeu. Els cercles representen la ubicació de les mostres de rierols i rius, les estrelles, la ubicació de les mostres d'incubadores de peixos (aqüicultura), els triangles, dels llacs, i el quadrat, d'un mercat local. Els llocs de mostreig situats en àrees on el silur ha estat introduït estan representats en verd, mentre que els llocs de mostreig situats en àrees on el silur és natiu estan representats en blau. L'àrea grisa representa l'àrea nativa actual del silur



Castagné et al., 2023). Vam utilitzar específicament eines genètiques per (1) descriure la diversitat genètica i l'estructura de poblacions de silur mostrejades a través d'Europa, (2) avaluar les relacions genètiques possibles entre les poblacions natives i no natives, i (3) avaluar l'estat genètic tant de les poblacions introduïdes com de les natives.

Així, hem confirmat que algunes poblacions natives (de Suècia i Suïssa) tenen una diversitat genètica limitada i que algunes poblacions introduïdes (sobretot les del sud-oest de França) tenen una forta diversitat genètica malgrat que són poblacions introduïdes. També hem determinat algunes relacions genètiques potencials entre algunes poblacions natives i no introduïdes. Per exemple, els individus mostrejats a la Gran Bretanya s'assemblen molt des d'un punt de vista genètic als individus mostrejats a la República Txeca i a Romania (Castagné et al., 2023). Aquest resultat és coherent amb els registres històrics, que assenyalen una introducció de silurs procedents de la Valàquia (un antic principat que ara correspon a Romania) a l'abadia de Woburn l'any 1880. D'altres poblacions introduïdes, com ara les de Portugal i

Espanya, també estan vinculades des d'un punt de vista genètic, i hem identificat almenys quatre orígens genètics diferents per les poblacions de silur franceses, encara que no hem pogut identificar totes les poblacions originàries. Així doncs, és necessari un major esforç de mostreig, especialment en àrees natives, per ampliar els coneixements sobre els patrons actuals de variació genètica de les poblacions de silur europeu i per caracteritzar més precisament les rutes d'introducció (fig. 7).

Conclusions i perspectives

La preservació de la biodiversitat d'aigua dolça és fonamental per al benestar humà i la salut dels ecosistemes. Les investigacions demostren que un enfocament integrador, adaptat a les característiques locals i regionals, pot millorar les condicions per a les espècies amenaçades i gestionar eficaçment les espècies invasores. La col·laboració interdisciplinària és essencial per afrontar els reptes que presenta la degradació de la biodiversitat en un context de canvi ambiental accelerat. Encara que poc esmentades durant aquesta ponència, la macroecologia, la biogeografia i noves disciplines emergents com la macrogenètica (Leigh *et al.*, 2021) poden contribuir significativament a la preservació de la biodiversitat d'aigua dolça a escala global. Aquestes disciplines poden ajudar a identificar patrons de riquesa i distribució d'espècies, facilitant la localització de zones clau per a la conservació i la creació d'àrees protegides. A més, permeten preveure l'impacte dels canvis climàtics i de l'ús del sòl en la biodiversitat aquàtica (Shen *et al.*, 2024, Lenoir *et al.*, 2020), facilitant la planificació d'accions de conservació. També són necessàries per promoure una gestió sostenible dels recursos hídrics que equilibri les necessitats humanes amb la preservació ecològica, i per fomentar la divulgació de coneixements per influir en polítiques de conservació a escala global.