

Informe sobre l'estat de les poblacions de coral vermell (*Corallium rubrum*) a les aigües de Catalunya

30 Gener 2017



Joaquim Garrabou¹, Cristina Linares², Ignasi Montero-Serra², Jean-Baptiste Ledoux¹, Àngel Lopez-Sanz¹, Àngela Olvera¹, Bernat Hereu², Sergio Rossi³, Lorenzo Bramanti^{1,4}, Georgios Tsounis^{1,5}, Carlos Domínguez-Carrió¹, Jordi Grinyó¹, Mikel Zabala², Josep-Maria Gili¹

¹Institut de Ciències del Mar-CSIC

²Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals- Universitat de Barcelona

³Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA)

⁴Laboratoire d'Ecogéochimie des Environnements Benthiques, LECOB – CNRS

⁵California State University, Northridge

Institute
of Marine
Sciences

icm



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



UNIVERSITAT DE BARCELONA



icta



Institut de Ciència
i Tecnologia Ambientals • UAB

Preàmbul

El present informe ha estat elaborat de forma consensuada entre els investigadors que han treballat en diferents institucions de recerca de Catalunya. Els autors hem estat treballant en diversos aspectes de la biologia i l'ecologia del corall vermell *Corallium rubrum* de les poblacions de Catalunya i també en d'altres indrets de la Mediterrània durant els darreres dècades. Les informacions que es presenten en aquest informe estan basades en els treballs que els autors d'aquest informe, així com d'altres investigadors d'altres països de la conca Mediterrània, han aportat a la comunitat científica. La font principal d'informació són publicacions en revistes científiques d'àmbit internacional de gran prestigi. Els resultats publicats han estat sotmesos als més alts estàndards de validació de la comunitat científica internacional. També hem inclòs dades d'informes tècnics que han encarregat diferents instàncies de l'administració de la Generalitat de Catalunya i de l'Estat Espanyol. L'objectiu principal d'aquest informe és establir l'estat de les poblacions de corall vermell a la Costa Catalana per tal d'avaluar les mesures de gestió adients per continuar les activitats pesqueres amb aquesta espècie. L'informe està estructurat en dos grans blocs. En el primer bloc aportem un resum sobre la informació més actual d'aspectes clau de la biologia i l'ecologia de poblacions del corall vermell. En el segon bloc es presenten les dades sobre l'estat de les poblacions de la Costa Catalana i s'analitzen les seves trajectòries en les properes dècades basant-se en les prediccions de models de dinàmica de poblacions disponibles. Finalment, es proposen mesures de gestió per tal de garantir la continuïtat de les activitats pesqueres en base a les evidències científiques aportades. En aquest informe hem intentat restringir els tecnicismes i termes científics als estrictament imprescindibles.

INDEX

Resum executiu.....	3
Introducció.....	5
Part I. El corall vermell <i>Corallium rubrum</i> . Estat de coneixements.....	6
Distribució geogràfica	6
Rang batimètric i hàbitats	6
Reproducció	6
Cicle reproductor.....	6
Mida i edat de la maduresa sexual i potencial reproductor	7
Capacitat de dispersió i connectivitat de les poblacions.....	7
Dinàmica de poblacions	9
Creixement	9
Longevitat.....	10
Taxes de mortalitat.....	11
Reclutament	12
Estructura de talles de les poblacions	13
Projeccions de la dinàmica de poblacions	15
Impacte i mecanismes de recuperació en poblacions pescades.....	16
Biodiversitat associada a les comunitats de corall vermell	17
Eines per la conservació del corall vermell	18
Efecte reserva.....	18
Eines forenses	19
Protocols de restauració	19
Estatus de protecció dins la Unió Internacional per la Conservació de la Natura (IUCN).....	20
Part II. Estat present i tendències de les poblacions de la Costa Catalana.....	21
Normativa pesquera a Catalunya	21
Activitat pesquera del corall a la Costa Catalana	22
Estat de les poblacions a la Costa Catalana.....	23
Distribució del corall a la Costa Catalana.....	23
Talles de les colònies	24
Casos de furtivisme a la costa catalana	25
Impacte sobre la biodiversitat	27
Explorant les trajectòries de les poblacions de la Costa Catalana	28
Conclusions i recomanacions per la gestió de la pesca	30
Bibliografia	32
Annex I	37

Resum executiu

L'objectiu principal d'aquest informe és establir l'estat de les poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* a la Costa Catalana i proposar les mesures de gestió, basades en el coneixements científics més actualitzats i validats per la comunitats científica internacional, que garanteixin la recuperació de les seves poblacions.

El corall vermell *Corallium rubrum* és un animal del grup dels Antozous (animals en forma de planta). El corall vermell forma part de la família d'espècies de corall preciosos que es distribueixen per tots els oceans. **Les poblacions de corall vermell de la Mediterrània** en general i de la Costa Catalana han estat sotmeses a una **força pressió pesquera** per la utilització dels seus esquelets en la indústria de l'ornamentació. Les poblacions de corall vermell actuals tenen **talles mitjanes i màximes molt inferiors** als valors que es trobaven en el passat. Així les dades demogràfiques disponibles mostren que només entre un **4 i 10% de les poblacions** entre els 0-50 m de fondària arriben a assolir els valors dels indicadors suficients per considerar-les **en bon estat de conservació**. Finalment, les estadístiques de pesca mostren clars signes de sobreexplotació, amb una **reducció de fins el 75% de les captures** a nivell de tota la Mediterrània en els **darrers 40 anys**. Diferents reglamentacions s'han adoptat a nivell internacional (e.g. Conveni de Barcelona) per afavorir la persistència del corall vermell a la Mediterrània. Tanamteix donada la situació de les poblacions, en el 2015 el **corall vermell** va ser inclòs en la **llista vermella** elaborada per la **IUCN** en la categoria **"En perill d'Extinció"**.

L'ecologia de poblacions del corall vermell **caracteritzada** per una **elevada parsimònia** (baixes taxes de creixement, reclutament i mortalitat –en absència de les activitats pesqueres–), edat de reproducció tardana (7-10 anys) i baixa connectivitat fa que la **recuperació de les poblacions** necessitin de llargs períodes de temps estimats en **varies dècades**.

Les **principals eines** per afavorir la **conservació de les poblacions** de corall vermell son: (i) **l'establiment d'àrees marines protegides**, en aquestes zones a on la pesca del corall vermell no està permesa, en general, les poblacions mostren colònies de mida més gran que en zones no protegides; (ii) els **mètodes forenses** basats eines moleculars permeten la identificació de la procedència geogràfica dels individus o poblacions i poden ser d'interès per a distingir entre la pesca legal i il·legal; i (iii) existeixen **protocols de restauració** efectius per ajudar a la recuperació de les poblacions.

Les poblacions de corall vermell a la Costa Catalana es troben principalment en la **zona de la Costa Brava** entre el Cap de Begur i el Nord del Cap de Creus. L'activitat pesquera també es centra en aquesta zona. Les **quantitats pescades a la Costa Catalana declarades** durant els darrers 25 anys s'han al voltant d'una tona anual que representa **menys d'un 3%** de totes les **captures a nivell de la Mediterrània**.

Les talles mitjanes de les colònies de les poblacions estudiades varien entre 5 i 8 mm en diàmetre basal i entre 3 i 6 cm en alçada, essent les poblacions més fondes les que mostren mides més grans. **Només un 10% de les poblacions** mostren un **bon estat de conservació**.

Les **poblacions de corall vermell** de la Costa Catalana han sofert un **nombre creixent casos de pesca il·legal** que han suposat el comís d'uns **80 kg (desenes de milers de colònies)** de corall

vermell. A més en la majoria de comisos **entre un 80 i 90% de les colònies pescades il·legalment no superaven la mida legal** establerta.

Per tal d'avaluar les **trajectòries d'evolució** de les poblacions de corall de la Costa Catalana s'han emprat **eines de modelització demogràfiques**. S'han analitzat les trajectòries en dues situacions contrastades de gestió: a) on la pesca es permesa com en l'actualitat i (b) on s'estableix una moratòria indefinida de la pesca. Els resultats mostren clarament que **la recuperació de les poblacions només és possible en absència d'activitats extractives** i que **es requereixen més de 30 anys** per assolir un bon nivell de conservació.

L'estudi conclou que les poblacions de corall vermell de la Costa Catalana no poden suportar la pressió de pesca actuals sense posar en perill la seva persistència.

La **principal recomanació per tal de garantir la perennitat de les poblacions de corall vermell i les activitats de pesca en el futur és declarar una moratòria de la pesca en tota la Costa Catalana de 20 anys renovables**. Aquesta moratòria s'hauria d'acompanyar de controls de l'evolució de les poblacions, establiment de zones de protecció integral, regulació de les visites de capbussadors en les zones on es desenvolupin poblacions de corall vermell, desenvolupament d'una genoteca de les poblacions catalanes i establir protocols de restauració per promoure la recuperació des les poblacions més afectades.

Introducció

El corall vermell *Corallium rubrum* és un animal del grup dels Antozous (animals en forma de planta). El corall vermell forma part de la família d'espècies de corall preciosos que es distribueixen per tots els oceans (Tsounis et al. 2010). El corall vermell forma colònies arborescents, en les branques hi trobem pòlips de color blanc (Figura 1). El pòlip són les unitats funcionals de les colònies de corall, connectats entre ells a través d'uns túbuls situats al teixit que recobreix l'esquelet del corall. És en els pòlips on es desenvolupen les gònades i per on s'alimenta el corall gràcies als seus 8 tentacles, que atrapen les partícules transportades per l'aigua. És precisament aquesta exposició als corrents la que determina la diversa disposició de les branques de les colònies: des de branques en un sol pla fins a branques creixent en múltiples direccions. Les colònies de corall vermell poden arribar a assolir alçades de fins a 50 cm i tenir una base de fins a 10 cm de diàmetre (Tescione 1973). S'estima que les colònies d'aquestes mides poden tenir centenars d'anys. Tanmateix, actualment és molt rar observar colònies d'aquestes mides en les poblacions i només es solen trobar en zones molt profundes (veure més endavant). El corall desenvolupa un esquelet calcari de color vermell resistent, molt apreciat en joieria. De fet, el corall vermell es pesca des de fa milers d'anys. Les pesqueries d'aquesta espècie varen tenir el seu màxim al segle XIX amb la utilització de l'anomenada creu de Sant Andreu (una creu de fusta amb trossos de xarxa) que s'arrossegava pel fons amb barques de vela o de rem. Amb l'arribada dels motors d'explosió, la creu de Sant Andreu va evolucionar fins a convertir-se en una barra de metall de més d'una tona de pes, amb xarxes enganxades, que causava la destrucció del fons marins. Aquesta pràctica es va prohibir l'any 1994 a tota la Mediterrània degut al gran impacte negatiu que causava. Des de la dècada de 1950, la pesca es fa mitjançant escafandre autònom, que va permetre l'accés a poblacions localitzades en zones de difícil accés. L'evolució dels sistemes d'escafandre (busseig amb recicladors i barreja de gasos) estan permetent als corallers accedir a poblacions de corall vermell més enllà dels 100 m de fondària. El resultat més evident de la pesca mil·lenària del corall és la reducció de les talles de les colònies. Com veurem en aquest informe, la major part de les poblacions tenen talles molt allunyades de les talles màximes que es trobaven en el passat. Igualment, les estadístiques de pesca mostren clars signes de sobreexplotació, amb una reducció de fins el 75% de les captures a nivell de tota la Mediterrània en els darrers 40 anys (Bruckner 2009, Tsounis et al. 2010). Per fer front a aquests evidents signes de degradació, el corall vermell ha estat inclòs en diversos convenis internacionals (e.g. Conveni de Barcelona), que han definit mesures per tal de garantir la persistència d'aquesta espècie a la Mediterrània.

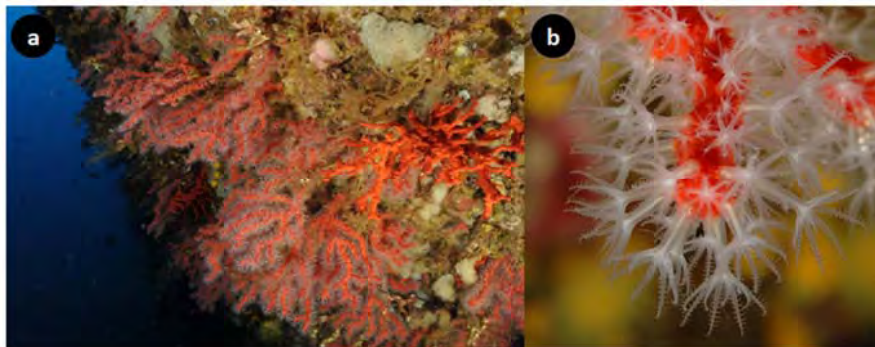


Figura 1. Colònies de corall vermell *Corallium rubrum* (a); detall dels pòlips de corall vermell (b).

Part I. El corall vermell *Corallium rubrum*. Estat de coneixements

Distribució geogràfica

Les poblacions de corall vermell estan presents principalment a la Mediterrània Occidental i a les costes veïnes de l'Atlàntic, principalment al sud de Portugal (Marchetti 1965, Zibrowius et al. 1984, Chintiroglou et al. 1989, Boavida et al. 2016). També estan presents a les costes africanes fins a les Illes de Cap Verd, a l'Adriàtic i a la Mediterrània Central. A la conca oriental s'ha confirmat la seva presència a les costes de Grècia i Turquia. Tanmateix, en aquestes zones la seva abundància és més feble i les poblacions es troben, en general, a fondàries importants (>80 m).

Rang batimètric i hàbitats

Les poblacions de corall vermell es desenvolupen en zones poc il·luminades com esquerdes, baumes, extraploms, coves i en parets verticals entre els 5 i els 1000 metres de fondària (Laborel & Vacelet 1961, Weinberg 1978, Rossi et al. 2008, Angiolillo et al. 2015). Aquest gran rang batimètric mostra la gran heterogeneïtat d'hàbitats on es pot desenvolupar. A les zones on trobem corall vermell, les poblacions presenten una distribució en taques: altes concentracions, colònies aïllades i zones on les colònies són absents. Aquesta distribució en mosaic mostra diferents nivells de complexitat, tant de densitat de colònies a les taques, com mida i separació entre les taques.

En general, l'àrea de distribució actual del corall vermell es correspon amb les àrees geogràfiques on està documentada la pesca del corall històricament. Tanmateix, es disposa de poca informació de la distribució de les poblacions de corall en zones profundes que es troben per sota dels >150 m de fondària.

Reproducció

Cicle reproductor. El corall vermell és una espècie dioica (sexes separats) tant a nivell de colònia com de pòlip (unitats funcionals de les colònies), tot i que excepcionalment algun pòlip pot arribar a tenir gàmetes dels dos sexes. El desenvolupament de les gònades té una durada de gairebé dos anys per a les colònies femenines i d'un any per a les colònies masculines. Entre mitjans de juny i juliol, les colònies mascles alliberen els seus gàmetes a la columna d'aigua, on buscaran pòlips de colònies femelles. La fecundació és interna i dona lloc a una larva de color beix blanquinós de mida petita, al voltant d'un mil·límetre. El desenvolupament larvari té una durada d'uns 30 dies i es realitza dins dels pòlips. Les larves surten dels pòlips i busquen un substrat adient per assentar-se. Si finalment s'acaben assentant, es produeix la metamorfosis i la larva esdevé una colònia d'un únic pòlip que a través del creixement somàtic anirà desenvolupant branques i nous pòlips. Tanmateix, la mortalitat en aquests estadis és molt elevada i poques larves sobreviuen fins a l'estadi de recluta (veure apartat reclutament) (Vighi 1970, Santangelo et al. 2003, Tsounis et al. 2006a, Priori et al. 2013).

Altres espècies de coralls, especialment de zones tropicals, poden reproduir-se (generar noves colònies) a través de processos de reproducció asexual (fissió, fragmentació de colònies, etc.). En el corall vermell, però, la via sexual és la principal forma de reproducció.

Mida i edat de la maduresa sexual i potencial reproductor.

La maduresa sexual de les colònies s'assoleix a edats relativament tardanes per als dos sexes, entre 7 i 10 anys (Torrents et al. 2005, Santangelo et al. 2003, Tsounis et al. 2006, Gallmetzer et al. 2010). Donades les baixes taxes de creixement d'aquesta espècie (veure apartat Creixement), les mides de les colònies que presenten gònades en els seus pòlips per primera vegada són molt petites, al voltant dels 2 mm de diàmetre basal i 3 cm en alçada (Torrents et al. 2005, Gallmetzer et al. 2010).

Les colònies amb mides superiors als 5 cm d'alçada tenen la majoria dels seus pòlips fèrtils. La fecunditat de les colònies, és a dir, el nombre de gònades per pòlip, varia entre 1-3 i 3-6 gònades a les colònies femenines i masculines, respectivament (Santangelo et al. 2003, Tsounis et al. 2006, Torrents & Garrabou 2011). Donat que el nombre de pòlips de les colònies augmenta exponencialment amb la mida, el potencial reproductor de les colònies augmenta igualment amb la mida. Per tant, mesures de gestió que tinguin per objectiu incrementar la mida mitjana de les colònies permetran augmentar significativament el potencial reproductor de les poblacions.

Capacitat de dispersió i connectivitat de les poblacions

Per conèixer la capacitat de dispersió del corall vermell necessitem saber quines distàncies poden recórrer les larves. Fer el seguiment dels moviments de les larves quan surten dels pòlips és tècnicament molt difícil. Tanmateix, les eines de la genètica de poblacions ens permeten analitzar patrons de dispersió a diferents escales. Analitzant poblacions repartides en diferents àrees de la Mediterrània Occidental entre 10 i 50 m de fondària, els estudis de genètica de poblacions suggereixen que el corall vermell té una capacitat de dispersió molt limitada. De fet, poblacions separades només desenes de metres són significativament diferents des d'un punt de vista genètic (Costantini et al. 2007a, Ledoux et al. 2010a). A més a més, les larves que s'instal·len en poblacions lluny dels progenitors (assegurant el flux genètic) ho fan principalment entre poblacions que estan properes a l'espai. Aplicant diferents models de dispersió, el cas del corall vermell correspon al model d'aïllament per distància, és a dir, la distància genètica entre les poblacions és més gran com més gran és la distància geogràfica entre elles (Ledoux et al. 2010a). A més els anàlisis de genètica de poblacions han permès identificar diferents clústers (grups de poblacions) dins de la Mediterrània nord occidental. Això implica que a més de l'efecte de la distància entre poblacions existeixen barreres al flux de gens (intercanvi de larves) a nivell regional (Ledoux et al. 2010a) (Figura 2). Pel que fa a les poblacions de fondària, estudis recents mostren patrons molt similars als de les poblacions superficials (Cannas et al 2015, Costantini & Abbiati 2016). Finalment, estudis focalitzats en la caracterització de les connexions entre poblacions somes i profundes (30-150 m de fondària) han constatat diferències genètiques entre poblacions localitzades a diferents fondàries. Sembla que al voltant dels 40-50 m hi hauria una barrera molt marcada que limita la dispersió (Costantini et al. 2011 però vegeu també Ledoux et al 2010a). Aquests resultats indicarien que les poblacions per sobre i sota de 40-50 m estarien genèticament aïllades i funcionarien de forma independent, descartant-se la possibilitat de que les poblacions més somes i més amenaçades siguin rescatades per poblacions més fondes, a priori menys afectades per la sobrepesca (hipòtesis refugi en fondària).

L'anàlisi de les relacions genètiques a petita escala (metres-centímetres) ha permès determinar l'existència d'unitats de reproducció (pares-fills) dins de les poblacions (Costantini et al. 2007b). De fet, un estudi que va analitzar les relacions de família (pares-fills, germans) en una superfície de no més de 0,25 m² va demostrar l'existència d'una densa xarxa de relacions de família. Aquest estudi va estimar que la dispersió efectiva, el que vindria a ser la capacitat de recolonització de l'espècie espècie de una generació a la altra, no era superior als 30 cm (Ledoux et al. 2010b). Aquests resultats indiquen que en les poblacions de corall es mantenen principalment gràcies a l'auto-reclutament o, el que vindria ser el mateix, les larves s'assenten a uns pocs centímetres dels seus progenitors. Així les poblacions de corall vermell funcionen principalment com a sistemes tancats. De confirmar-se aquests resultats en l'anàlisi d'altres poblacions, es podria confirmar que la capacitat de dispersió del corall vermell seria encara més restringida del que inicialment es pensava.

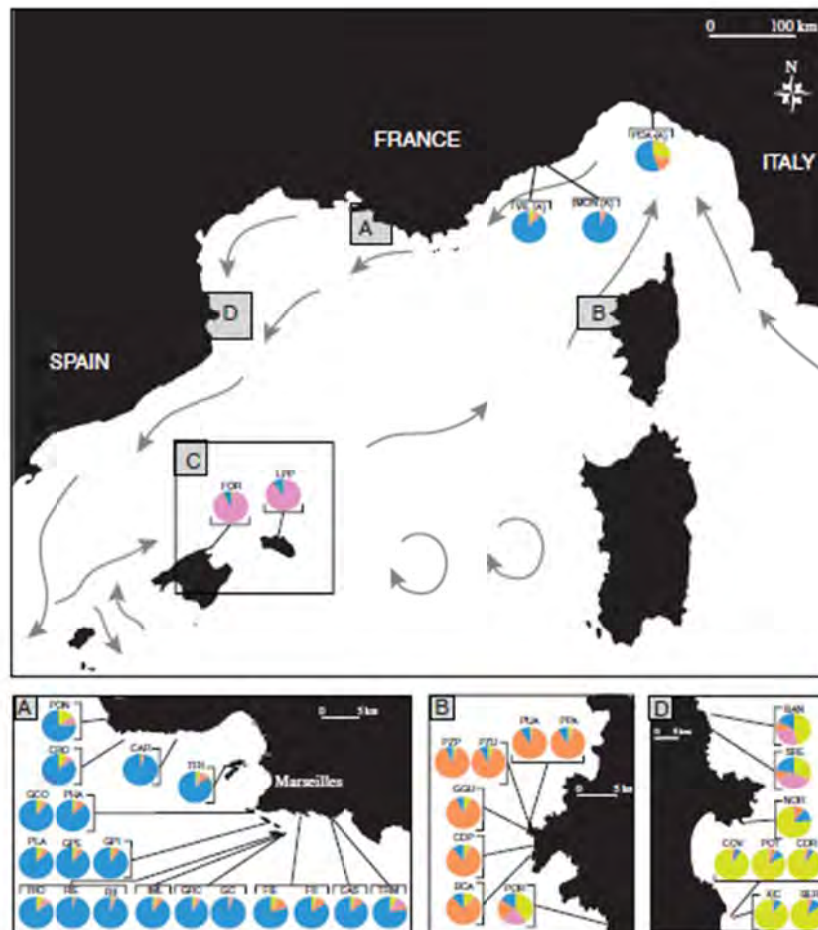


Figura 2. Localització de poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* en 4 regions de la Mediterrània Occidental (A-Liguro-Provençal, B-Còrsega, C-Illes Balears, D-Costa Catalana) analitzades pels estudis de genètica de poblacions. Els cercles corresponen als resultats de les anàlisis d'assignació de cada colònia obtinguts amb STRUCTURE per 4 clústers. Per més informació veure Ledoux et al. 2010a.

El patró general de connectivitat reduïda general entre les poblacions de corall vermell té implicacions importants a l'hora de definir unitats de gestió, ja que la recolonització de poblacions afectades per la pesca (o altres fonts de perturbació) només serà viable a partir de

poblacions veïnes (situades a desenes o centenars de metres) dins del mateix rang de fondària. En contrast, espècies amb una gran capacitat de dispersió, com per exemple els eriçons de mar (*Paracentrotus lividus*), poden mantenir poblacions viables gràcies a l'arribada de larves de poblacions situades a centenars de kilòmetres. Per tant, la gestió de les poblacions de corall vermell ha de tenir en compte la feble connectivitat en l'espècie i tenir en compte els diferents nivells d'estructuració de les poblacions des dels grups de poblacions (clústers regionals) (Aurelle et al. 2011, Aurelle & Ledoux 2013) fins les unitats de reproducció dintre de les poblacions.

Dinàmica de poblacions

Creixement

El corall vermell té unes taxes de creixement extremadament lentes. Els estudis per quantificar les taxes de creixement s'han basat principalment en l'anàlisi dels anells de creixement (Marschal et al. 2004), així com mitjançant el seguiment fotogràfic de colònies (e.g. Garrabou & Harmelin 2002, Bramanti et al. 2005) (Figura 3). S'han estudiat poblacions en diferents àrees de la Mediterrània Occidental (Catalunya, Provença, Còrsega, Itàlia, Tunísia, Algèria), així com diferents rangs de fondària entre 10 i 130 m. Els estudis mostren taxes de creixement molt semblants, al voltant de $0,25 \text{ mm any}^{-1}$ pel diàmetre, independentment de la zona o la fondària considerada (Taula 1). Només durant els primers anys de vida de les colònies les taxes de creixement presenten valors que dupliquen les taxes de les colònies adultes (Taula 1). Hi ha menys informació pel que fa al creixement en alçada. Els valors disponibles assenyalen taxes al voltant d' 1 mm any^{-1} per colònies adultes. De la mateixa manera que el diàmetre, les taxes de creixement en alçada assoleixen valors entre 2 i 3 vegades superiors en colònies juvenils (Taula 1).

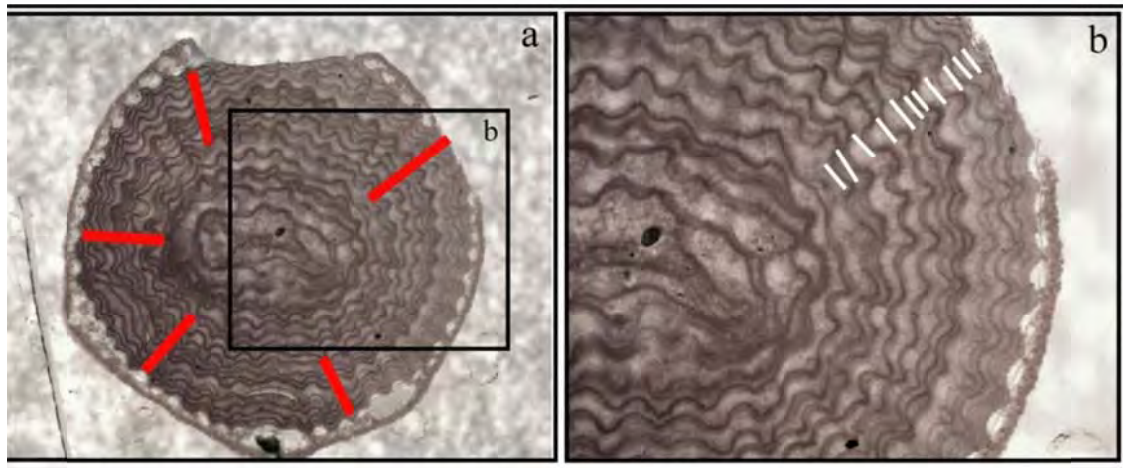


Figura 3. Anells de creixement anuals obtinguts en un tall transversal fet a la branca principal d'una colònia de corall vermell

Taula 1. Taxes de creixement del corall vermell *Corallium rubrum* * :Mitjana de creixement per colònies entre 0-4 anys ;
****** :Mitjana de creixement en colònies en edat de primera reproducció

Població	Fondària (m)	Ø Base (mm.any ⁻¹)	SD	Alçada (mm.any ⁻¹)	SD	Referències
Medes-Dofí	15-20	0.26	0.05			Linares et al. 2012
Medes-Vaca	15-20	0.25	0.04			Linares et al. 2012
Medes-Pedra de Déu	35-40	0.22	0.06			Linares et al. 2012
Cap de Creus	30-35	0.23	0.06			Bramanti et al. 2014
Marsella-Riou	20-32	0.24	0.05	0.78	0.67	Garrabou& Harmelin 2002
Marsella-Riou sud	35-40	0.51*	0.14	3.51*	0.6	Torrents et al. 2005
Marsella-Frioul	35-40	0.36	0.09	2.34*	0.51	Torrents et al. 2005
FR-Carry-le Rouet	24-25	0.13				Linares et al. 2010
Còrsega-Scandola	19-22	0.13				Linares et al. 2010
Còrsega-NW	41-42	0.21	0.06			Gallmetzer et al. 2010
Còrsega -NW	24-25	0.19	0.02			Gallmetzer et al. 2010
Scandola-Palazzu	19-22			1.19	0.87	Dimarchopoulou 2015
IT-Calafuria	35	0.68**	0.02			Santangelo et al. 2012
IT-Elba	35	0.59**	0.02			Santangelo et al. 2012
IT-Calafuria	25-35	0.62**	0.19	1.83**	0.15	Bramanti et al. 2005
IT-Portofino	30-35	0.24	0.061			Bramanti et al. 2014
IT-Tuscany archipelago	60-120	0.26				Priori et al. 2013

Longevitat

Tenint en compte les taxes de creixement tan lentes, les estimes de longevitat del corall vermell indiquen que les colònies poden arribar fàcilment a viure varies desenes d'anys. Les colònies de gran talla (e.g. colònies amb 4 cm de diàmetre a la base) que es troben en museus i col·leccions privades de corallers pescades entre els anys 1950 i 1960 són testimonis de les mides que pot assolir aquesta espècie en les zones somes (0-50 m), on avui les colònies rarament arriben a 1 cm de diàmetre (Figura 4). Si apliquem la taxa de creixement mitjana, les colònies de gran talla (> 1 cm de diàmetre a la base) poden superar fàcilment els 100 anys d'edat (Garrabou i Harmelin 2002, Priori et al. 2013). En la majoria de poblacions actuals, les edats màximes es situen entre 30 i 60 anys com a màxim. De fet, a les poblacions del Parc Natural del Cap de Creus i la Reserva Marina de Portofino les edats màximes poden arribar als 40 i 60 anys respectivament (Bramanti et al. 2014). Aquestes estimes respecte al potencial de longevitat de les colònies són una prova que la pesca està reduint la longevitat de les colònies en més d'una tercera part del seu potencial (Tsounis et al. 2007).



Figura 4. Colònies de corall vermell *Corallium rubrum*. A l'esquerra una colònia representativa de les colònies que trobem a les poblacions pescades. La seva edat s'estima entre 30-40 anys. A la dreta una colònia pescada als anys 60 en la zona del Cap de Creus, a uns 25-30 m de fondària (col·lecció privada). L'edat d'aquest tipus de colònies pot fàcilment arribar als centenars d'anys.

Taxes de mortalitat

Tenint en compte la longevitat de les colònies de corall vermell, les taxes de mortalitat de les seves poblacions són extremadament petites en absència de grans perturbacions (0-2% colònies any⁻¹) (Garrabou i Harmelin 2002, Teixidó *et al.* 2011, Pancaldi 2012). Tanmateix la taxa de mortalitat varia en funció de l'edat de les colònies, així durant els primers anys de vida la mortalitat presenta els valors més elevats que poden arribar fins al 20%, aquest valors van disminuint progressivament fins arribar a taxes pràcticament nul·les en les colònies més velles (Garrabou i Harmelin 2002, Bramanti *et al.* 2005, Montero-Serra *et al.* en preparació).

Igualment, les colònies de corall vermell, com a organismes clonals que són, poden patir també episodis de mortalitat parcial per diversos processos principalment pel trencament de branques, desenvolupament de necrosi en parts de la colònia, en menor mesura per la predació del gasteròpode *Pseudosimnia carnea* i pel crustaci *Balssia gastri* (Abbiati *et al.*, 1992). Com en el cas de la mortalitat total, les taxes de mortalitat parcial són petites en condicions normals.

Actualment, la causa principal de mortalitat en poblacions de corall vermell és la pesca, malgrat que recentment s'han observat episodis de mortalitat massiva associats a l'escalfament anormal de les aigües observat en la Mediterrània en les darreres dècades (Harmelin 1984; Cerrano *et al.* 2000; Perez *et al.* 2000; Garrabou *et al.* 2001). En aquests casos, les taxes de mortalitat (tant total com parcial) poden arribar a multiplicar per 10 els valors normals.

Un altre efecte a mig-llarg termini serà l'acidificació dels oceans, particularment aguda a la Mediterrània. L'efecte de la acidificació de les aigües també s'ha pogut testar a les colònies de corall vermell. S'ha pogut demostrar una pèrdua a mig termini de la capacitat de calcificació (més del 50%) de l'espècie (Bramanti *et al.* 2013), lo que portarà a una reducció del creixement del diàmetre (aproximadament un 30%) (Chaabane 2017).

La pesca augmenta de manera significativa les taxes de mortalitat total i parcial. El resultat és que les poblacions han modificat radicalment la seva estructura de talles, passant a estar dominades per colònies de mida petita. La pressió de pesca manté aquesta estructura de talles en la majoria de poblacions (Tsounis *et al.* 2006b, 2010; Linares *et al.* 2010, 2012). Tanmateix, tenim poques evidències empíriques dels efectes de la pesca, és a dir, poblacions control que s'haguessin estudiat abans i després d'una pesca. Entre els estudis disponibles, trobem el seguiment de 2 poblacions que varen ser pescades durant els controls poblacionals a les costes de Marsella. La mortalitat parcial va afectar entre un 40 i 60% de les colònies i la mortalitat total va arribar fins al 7% (un increment 7 vegades superior respecte a les taxes normals) (Montero-Serra *et al.* 2015).

Per altra banda, els esdeveniments de mortalitat massiva relacionats amb anomalies tèrmiques positives (és a dir, temperatures més càlides de les que serien habituals) causen la mortalitat total i parcial per necrosi dels teixits, que deixen al descobert els eixos calcaris de les colònies i que són colonitzats per d'altres organismes (Figura 5). Com en el cas de la pesca, s'ha observat un augment significatiu de les taxes de mortalitat total i parcial que poden arribar a afectar entre un 5 i un 40 % de les colònies (Cerrano *et al.* 2000, Perez *et al.* 2000, Garrabou *et al.* 2001, Bramanti *et al.* 2005; Santangelo *et al.* 2007, Garrabou *et al.* 2009).



Figura 5. Colònia de corall vermell *Corallium rubrum* afectada per mortalitat per necrosis associada a un episodi d'escalfament de la temperatura. El teixit, una vegada s'ha degradat, deixa al descobert els esquelets calcaris que són colonitzats per espècies oportunistes.

Reclutament

Les poblacions de corall vermell presenten una taxes baixes de reclutament (entrada de noves colònies a les poblacions), com es esperable en espècies de dinàmica lenta i vida llarga. Seguiments de poblacions a llarg termini mostren que el reclutament és molt limitat (<0.25 reclutes / $\text{dm}^2 \text{ any}^{-1} \sim 25$ reclutes / $\text{m}^2 \text{ any}^{-1}$) (Garrabou i Harmelin 2002, Pancaldi 2012, Linares et al. 2012). De fet, en parcel·les permanents localitzades en 9 poblacions diferents repartides per la Mediterrània occidental i sotmeses a diferents graus de protecció, rarament s'observen reclutes (Figura 6). Les taxes de reclutament màximes observades en les poblacions són de 2 reclutes $\text{dm}^{-2} \text{ any}^{-1}$ (Linares et al. 2012), mentre que les taxes de reclutament més elevades ($6,24 \pm 4,26$ reclutes $\text{dm}^{-2} \text{ any}^{-1}$) s'han trobat en estudis a la costa italiana que utilitzaven plaques de colonització artificials (Bramanti et al. 2005, Santangelo et al. 2012). Les taxes de reclutament més elevades s'han observat sempre en poblacions caracteritzades per una alta densitat, el que fa suposar l'existència d'una relació positiva entre reclutament i densitat poblacional (Bramanti et al. 2005, Santangelo et al. 2012, Linares et al. 2012). En general, però, les taxes de reclutament no semblen poder equilibrar les pèrdues causades per les activitats humanes (Garrabou et al. 2009, Linares et al. 2012, Tsounis et al. 2013).

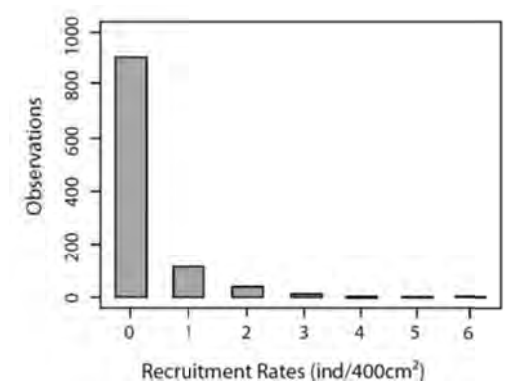


Figura 6. Taxes de reclutament mesurades en parcel·les permanents en 9 poblacions de corall vermell (Montero-Serra et al. en preparació)

Estructura de talles de les poblacions

Per tal d'analitzar l'estat de les poblacions hem realitzat una recerca bibliogràfica sobre estudis demogràfics fets amb corall vermell en la base de dades Web of Knowledge ©. Hem trobat dades per a més d'un centenar de poblacions. Per a cada estudi, hem extret diferents tipus d'informació: localització geogràfica, nivell de protecció, fondària, mètodes de mostreig i diferents dades demogràfiques (mitjanes, talles màximes, etc.). A la base de dades generada també hi hem afegit la informació de les poblacions analitzades en informes tècnics als quals hem tingut accés. La informació disponible està clarament esbiaixada vers les poblacions entre 0-50 m de fondària. Per les poblacions més enllà dels 50 m de fondària, la informació demogràfica és escassa.

Globalment, les poblacions presenten colònies amb mides tant pel diàmetre de la base com per l'alçada que rarament passen dels 5 mm i dels 5 cm respectivament (Figura 7). Les mides mitjanes de les colònies augmenten amb la fondària tant pel diàmetre com per l'alçada (Figura 7). Aquest patró respon molt probablement a la disminució de l'esforç pesquer amb la fondària.

Respecte l'estructura de talles, trobem bàsicament dos tipus d'estructures. En el cas de les poblacions explotades, aquestes estan dominades per colònies de mida petita (inferiors a 3-4 cm d'alçada) i mostren una abundància molt baixa de colònies grans. Igualment, la majoria de poblacions presenten una manca de reclutament que es tradueix en una baixa abundància de colònies de les primeres classes de mida (Figura 8). Per altra banda, les poblacions que no han estat pescades mostren una estructura de talles més madura, amb un augment important en l'abundància de colònies de mida gran (superiors a 10 cm d'alçada) (Figura 8). En aquestes poblacions, com és el cas de les explotades, també s'observa una limitació del reclutament (Figura 8).

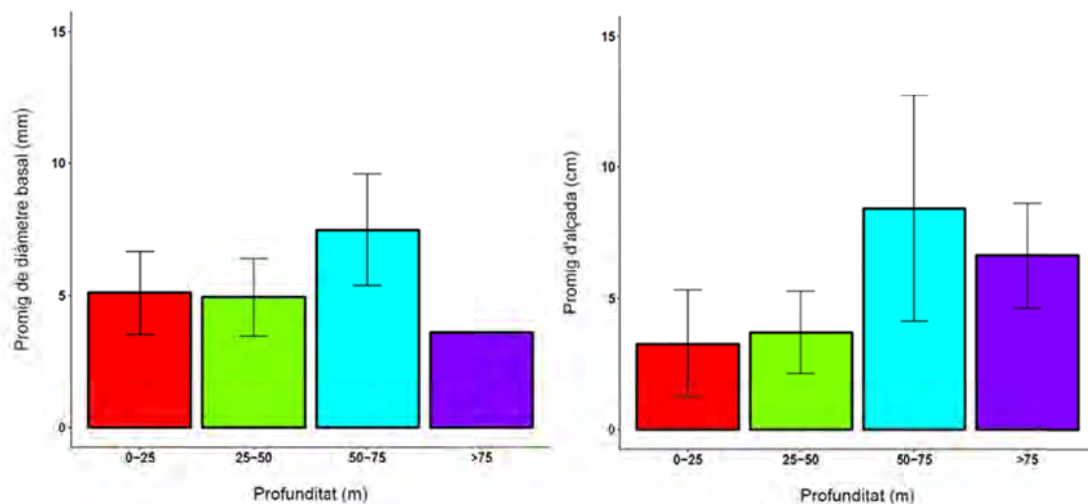


Figura 7. Diàmetres i alçades mitjanes en les poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* de la Mediterrània en funció de la fondària.

Com la pesca és la major pertorbació a la que estan sotmeses les poblacions de corall vermell, l'abundància de colònies de mida gran ha estat proposada com un indicador fiable de l'estat de conservació de la població (Garrahou i Harmelin 2002, Linares et al. 2010). Les colònies de mida gran proveeixen la complexitat estructural necessària per estructurar les comunitats i permetre el seu funcionament. D'altra banda, les colònies de mida gran són les que presenten un potencial reproductor més elevat. La seva contribució pot ser clau per garantir la persistència de les poblacions i mantenir la connectivitat entre les diferents poblacions properes. Com a indicadors de l'estat de conservació de les poblacions s'han proposat el percentatge de colònies superiors a 7 mm de diàmetre basal i 10 cm en alçada (Linares et al. 2010). El valor de referència de l'indicador per determinar un bon estat de conservació de les poblacions és d'un 50% de colònies amb més de 7 mm de diàmetre i un 30 % de colònies de més de 10 cm d'alçada (Linares et al. 2010). Aquesta referència s'ha obtingut analitzant les poblacions que es coneixen en el millor estat de conservació de la Mediterrània Nord Occidental.

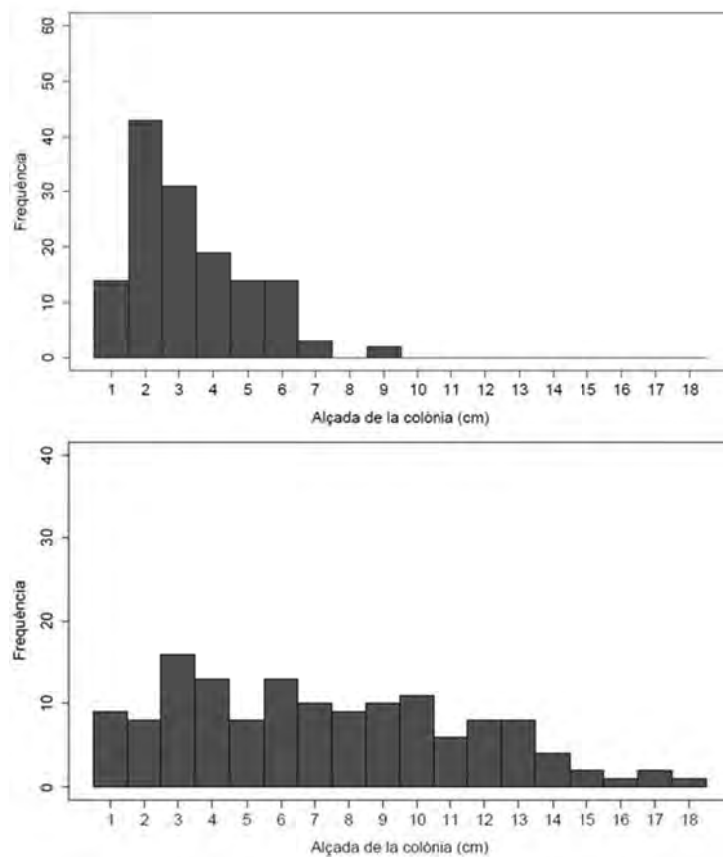


Figura 8. Estructura de talls d'una població afectada per la pesca (dalt) i d'una població que s'ha beneficiat d'una protecció efectiva durant més de 40 anys (Palazzu, Reserva Natural de Scandola, Còrsega).

De fet, aquests valors corresponen a les dades de poblacions que es troben en 3 reserves integrals d'àrees marines protegides des de fa uns 40 anys (Linares et al. 2010). Per aquests anàlisis s'han seleccionat les dades de les poblacions entre 0-50 m per a les quals hi havia més dades sobre l'estructura de talls. Només el 10% i 4 % pel diàmetre i l'alçada respectivament arriben als nivells de referència (Figura 9). Aquests valors són una evidència més dels nivells de sobreexplotació que pateixen les poblacions de corall vermell.

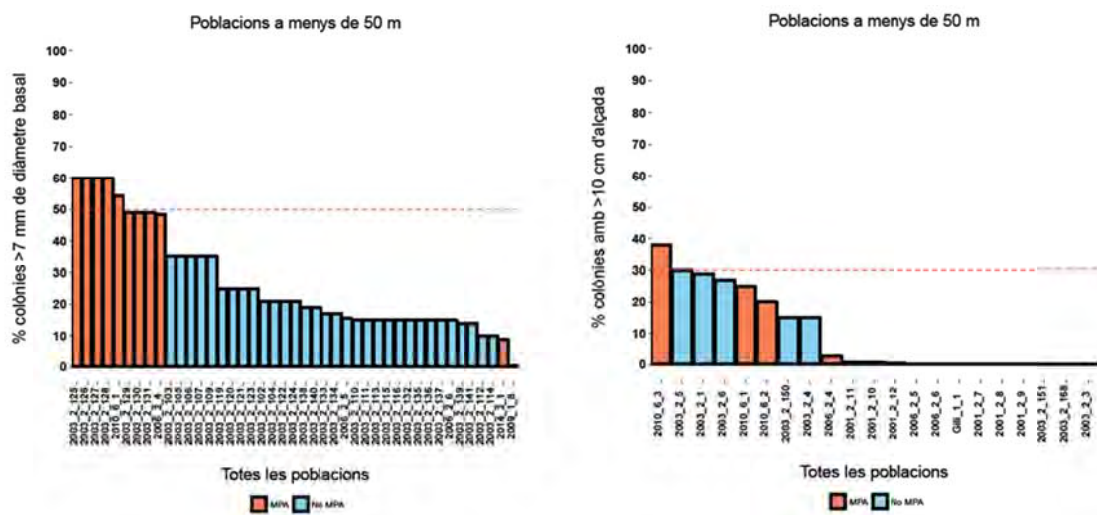


Figura 9. Percentatge de colònies > 7mm de diàmetre (esquerra) i > 10 cm alçada (dreta) en poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* entre 0-50m. La línia vermella indica el nivell de referència d'un bon estat de conservació.

Projeccions de la dinàmica de poblacions

Per tal d'avaluar les trajectòries de les poblacions de corall vermell s'han desenvolupat models matemàtics de dinàmica de poblacions. En el cas del corall vermell, en ser una espècie de vida llarga i de dinàmica molt lenta, aquesta aproximació és la única que permet explorar l'evolució de les poblacions sota diferents escenaris de gestió. Hi ha diferents aproximacions per fer aquesta modelització (e.g. Bramanti et al. 2009). Les més fiables són les que es basen en la quantificació de les taxes vitals (taxa de supervivència, de trencaments, de creixement i d'èxit reproductiu) a partir del seguiment temporal de colònies de forma individualitzada (Morris & Doak 2002). Per les poblacions de corall, el seguiment fotogràfic de transsectes permanents ha mostrat ser l'eina més eficaç per obtenir informació individual i detallada sobre les taxes vitals que proporcionen al model les dades més realistes disponibles (Montero-Serra en preparació). D'aquests seguiments s'obtenen específicament la mida de la colònia, la taxa anual de supervivència de cada colònia i una quantificació dels esdeveniments de mortalitat parcial i dels trencaments. Les taxes de creixement s'obtenen comparant les mides en diferents moments. D'altra banda, tenint en compte els estudis genètics que mostren que el corall és una espècie amb una dispersió larvària molt restringida al voltant d'uns 30cm (veure més amunt), es va estimar la fecunditat anual mitjana de les colònies assumint que els nous reclutes observats provenen de colònies adultes presents al transsecte. A més, en aquest càlcul de fecunditat es va assumir una relació exponencial entre la fecunditat i l'alçada màxima de les colònies donat que, com s'ha comprovat en diversos estudis, l'alçada màxima en espècies de morfologia arborescent com els coralls té una relació exponencial amb el nombre de pòlips, que són la unitat reproductora. A més, el seguiment de parcel·les permet estimar la taxa de reclutament ja que quantifica l'aparició anual de nous reclutes en els transsectes (veure apartat reclutament) (Montero-Serra en preparació).

Formulació de models demogràfics

Per tal d'incorporar les taxes vitals observades i la seva dependència de la mida de les colònies en un model matemàtic, s'han emprat els models demogràfics anomenats *Models de Projecció*

Integral (Ellner & Rees 2006). Aquests models són una extensió dels models matricials que tradicionalment s'han utilitzat per integrar les taxes vitals (creixement, supervivència, reproducció i mortalitat parcial) en una matriu que descriu la transició d'una població A d'un any (t) al següent (t+1). Aquesta matriu especifica la probabilitat de creixement, supervivència, trencament i reproducció de cada colònia depenent de la seva mida inicial. Així, donada una població inicial i la seva estructura de talles, es pot calcular l'estructura de talles esperada per l'any següent. Donat que s'han obtingut dades en poblacions en diferents situacions de protecció i variabilitat ambiental, aquests models permeten tenir en compte les diferents situacions i desenvolupar projeccions per a les diferents poblacions. Igualment, l'aplicació d'aquests tipus de models permeten estimar els temps de recuperació de poblacions sotmeses a diferents pressions i condicions de gestió (veure més endavant).

Impacte i mecanismes de recuperació en poblacions pescades.

L'estudi de l'impacte de la pesca en la Reserva Marina de les Illes Medes a la costa catalana (Linares et al. 2012) i en la Illa de Riou a Marsella (França) (Montero-Serra et al. 2015) va permetre quantificar les pèrdues en biomassa de les poblacions, que es situen entre un 60-90% de la biomassa total de la població en un únic esdeveniment de pesca (Figura 10). Aquesta pèrdua dràstica de biomassa es deu a que els corallers busquen principalment les colònies de mida més gran, el que causa un canvi total en l'estructura de les poblacions abans i després de la pesca.

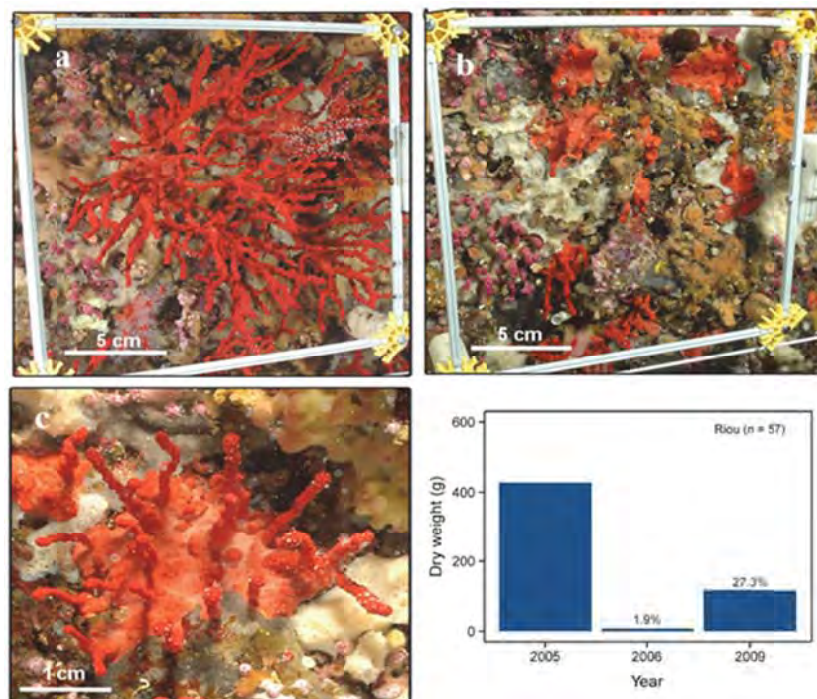


Figura 10. Fotos a) i b) il·lustren els efectes de la pesca observats en les parcel·les permanents emprades pel seguiment de les poblacions. Foto c) detall del rebroll de branques a partir de les bases de les colònies pescades. Gràfic de barres mostra els valors de biomassa mesurats abans de la pesca (2005), just després (2006) i 4 anys després de la pesca (Montero-Serra et al. 2015).

La pregunta clau és conèixer els mecanismes de recuperació del corall després de la pesca. El seguiment de dues poblacions a la costa de Marsella mitjançant parcel·les marcades,

monitoritzades durant 4 i 7 anys després d'haver estat pescades, va permetre analitzar els mecanismes de recuperació d'aquesta espècie (Montero-Serra et al. 2015). Al final de l'estudi només es va observar una recuperació parcial de les poblacions. Moltes colònies varen ser recol·lectades deixant la base de la colònia, i malgrat haver patit una reducció dramàtica de la seva mida, les bases sense cap branca van mostrar una elevada supervivència i una gran capacitat de rebroll en petites branques a la base de les colònies (Figura 11). En canvi, es va constatar les baixes taxes de reclutament i l'alta mortalitat dels nous reclutes observats. Les projeccions de l'evolució de les poblacions gràcies als models demogràfics confirmen que les taxes de recuperació de *C. rubrum* depenen molt de com es recol·lecten les colònies. Així, es van testar dos escenaris de modalitat de pesca: extracció completa de les colònies (Escenari 1) i deixant la base de les colònies (Escenari 2). La recuperació de la biomassa és molt més lenta quan s'extreuen completament les colònies, a diferència de quan es deixa la base de les colònies (Figura 11). Tot i així, en el millor dels casos, les simulacions mostren que com a mínim es necessiten uns 20 anys per arribar a recuperar la biomassa que tenien les poblacions abans de la pesca (Montero-Serra et al. 2015). Aquest estudi va demostrar que la via principal de recuperació de les poblacions de corall vermell pescades és el rebroll, mentre que la via de la reproducció sexual juga un paper secundari (Montero-Serra et al. 2015).

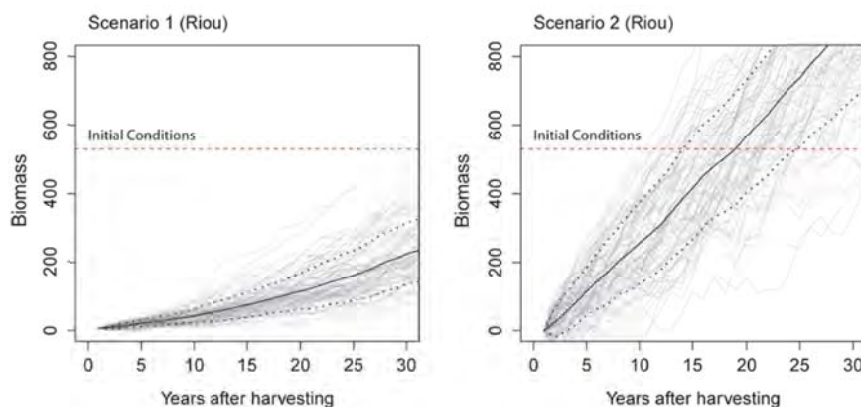


Figura 11. Projeccions de la recuperació de la biomassa en una població afectada per la pesca amb la modalitat de l'extracció total (esquerra) i parcial -deixant les bases- (dreta) de les colònies de corall vermell (Montero-Serra et al. 2015).

Biodiversitat associada a les comunitats de corall vermell

El corall vermell és considerada una de les espècies clau en la comunitat del coral·ligen. En aquesta comunitat trobem gairebé el 10% de totes les espècies descrites a la Mediterrània i és per això que es pot considerar un "hot-spot" de diversitat biològica mediterrània (Ballesteros 2006, Coll et al. 2010). La riquesa d'aquesta comunitat la trobem en la complexitat estructural que li confereixen les formacions calcàries d'origen biogènic produïdes pel creixement d'algues i invertebrats amb esquelets calcaris. El corall vermell forma part de les espècies estructurals, també anomenades enginyeres, degut a què amb el seu creixement proveeix d'hàbitat per a d'altres espècies. Igualment, el coral·ligen està reconegut pel seu elevat valor paisatgístic (que atreuen a milers d'escafandristes cada any) i alberga espècies de gran interès patrimonial, pesquer i amb compostos bioactius. Les comunitats del coral·ligen estan sotmeses a múltiples

pressions degut a les activitats humanes (pesca, contaminació, destrucció dels hàbitats, espècies invasores, canvi climàtic) (Ballesteros 2006). Per tots aquests valors, les administracions han adoptat diferents mesures de protecció. Concretament la Unió Europea va prohibir la pesca amb arts d'arrossegament, dragues, xarxes de platja o xarxes similars sobre les comunitats del coral·ligen de les localitats de Natura 2000, zones protegides i zones especialment protegides d'importància mediterrània (ASPIM) (CE Num. 1967/2006, Article 4.2). Més recentment, els països signataris de la Convenció de Barcelona (entre ells Espanya) varen aprovar un pla d'acció per la protecció del coral·ligen comproment-se a promoure la seva conservació i gestió sostenible (UNEP-MAP-RAC/SPA 2008).

Eines per la conservació del coral vermell

Efecte reserva

Una de les mesures per garantir la persistència de les poblacions de coral vermell ha estat la creació d'àrees marines protegides en zones on es desenvolupen les poblacions de coral. Com a exemples d'àrees emblemàtiques pel bon nivell de conservació assolit trobem la Reserva Natural de Scandola (Còrsega, França) i l'Àrea Marina Protegida de Portofino (Itàlia) (Linares et al. 2010, Linares et al. 2012, Bavestrello et al. 2014). Analitzant les dades disponibles per les poblacions de fora i dins de diferents àrees marines protegides, s'observa que la protecció es tradueix en un increment de les mides independentment del rang de fondària considerat (Figura 12). Tanmateix, les diferències no són molt grans. Atenent a la lenta dinàmica del coral, només després de molts anys de protecció els resultats podran ser visibles. A més, la protecció ha de ser especialment efectiva ja que els episodis de furtivisme poden tenir conseqüències molt negatives per la recuperació de les poblacions dins de les zones protegides (Linares et al. 2012).

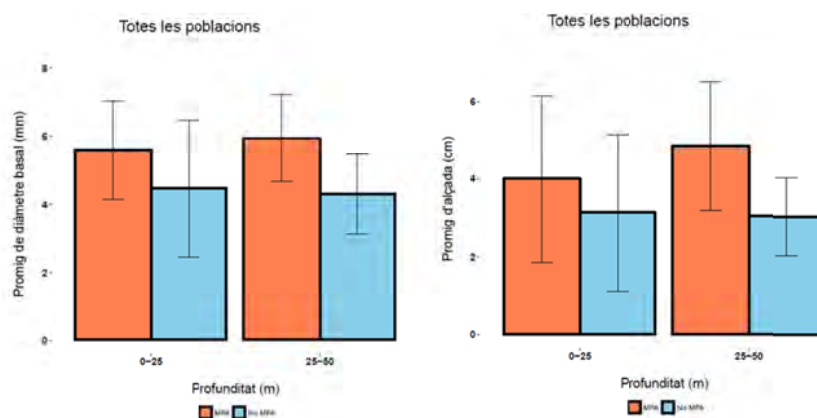


Figura 12. Efecte reserva. Diàmetres i alçades mitjanes a les poblacions de coral vermell *Corallium rubrum* de la Mediterrània segons la fondària i el règim de protecció - MPA (Àrees Marines Protegides)-.

Igualment si es vol garantir l'efectivitat de les mesures de protecció, s'ha d'evitar una sobre-freqüentació de les zones amb coral vermell. Els estudis sobre l'evolució de les poblacions de coral vermell de les Illes Medes dins el Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter van constatar una relació negativa entre el nivell de recuperació de les poblacions i el nombre de visites d'escafandristes. Malgrat que els danys són involuntaris i per simple contacte físic entre

els escafandristes i les colònies de corall, tenen conseqüències importants per a la recuperació de les poblacions (Linares et al. 2012).

Eines forenses

Els recents avenços en les ciències forenses de vida silvestre i més particularment en els mètodes forenses moleculars i anàlisis estadístiques associats poden obrir noves vies per lluitar contra la caça furtiva i el comerç il·legal en el corall vermell. De fet, aquests mètodes permeten la identificació de la procedència geogràfica dels individus o poblacions i poden ser d'interès per a distingir entre la pesca legal i il·legal (per exemple, dins d'àrees marines protegides). La informació continguda en els genotips es pot emprar per dur a terme proves d'assignació i per estimar el grau de pertinença dels individus (colònies) a poblacions de referència. Aquests mètodes requereixen la disponibilitat de marcadors moleculars polimòrfics (com ara els anomenats microsatèl·lits) i una base de dades de referència del genotip de les diferents poblacions d'interès. Els microsatèl·lits desenvolupats per la caracterització de la estructura genètica de poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* (veure més amunt) s'averen suficients per discriminar entre poblacions. A més s'han posat a punt tècniques d'amplificació de l'ADN del corall vermell a partir de mostres seques (Ledoux et al. 2013, Ledoux et al. 2016). Així doncs des d'un punt de vista tècnic disposem de les eines necessàries per poder identificar les poblacions (zones) d'origen de les colònies a partir d'anàlisis genètics. Tanmateix, per tal d'augmentar la discriminació espacial (entre poblacions properes) s'ha de prosseguir mitjançant el desenvolupament de més marcadors i sobretot caracteritzar un major nombre de poblacions per construir la base de dades de referència. Això hauria de permetre el mapatge de la diversitat genètica del corall vermell al llarg de la costa del català i una aplicació efectiva de les polítiques de gestió.

Protocols de restauració

Diferents tècniques de cultiu de corall vermell s'han testat durant les darreres dècades en diferents zones de la Mediterrània (e.g. Cattaneo-Vietti i Bavestrello 1994, Chessa et al 1993, Chessa et al 1997). Aquestes tècniques basades en els transplantaments de colònies senceres (o branques) poden ser una bona eina per ajudar a la restauració de poblacions afectades per la pesca. A la Costa Catalana comptem de dues experiències que han mostrat la seva eficàcia (Rossi i Gili 2003, Montero-Serra et al. in pres). Aquestes tècniques basades en fixar les colònies al substrat A la colònies de corall vermell ha provat la seva eficàcia per accions puntuals de recuperació de poblacions (Rossi i Gili 2003, Montero-Serra et al. en premsa). La més recent d'aquestes experiències va trasplantar més de 300 colònies de corall vermell procedents d'un comís a la tardor del 2011. Durant 4 anys s'ha monitoritzat la supervivència de les colònies trasplantades i l'esforç reproductor. Els resultats mostren valors molt semblants als de les poblacions control (Montero-Serra et al. in premsa). Resultats semblants es varen obtenir en les proves fetes a principis dels anys 2000 (Rossi i Gili 2003).

Estatus de protecció dins la Unió Internacional per la Conservació de la Natura (IUCN)

Recentment la revisió de l'estat de conservació dels antozous mediterranis, ha posat el corall vermell dins de la categoria "En perill d'extinció" pels següents motius que s'exposen a continuació. A partir de la disminució del 60% de les captures durant els últims trenta anys, en combinació amb el declivi de les poblacions es veu que l'espècie ha patit una disminució que ha reduït significativament la seva abundància sobretot pels efectes de la pesca, estimant-se una pèrdua del 30% de les colònies en els últims 30 anys. Degut a l'augment de les perturbacions que afecten aquesta espècie, és probable que segueixi disminuint a un ritme similar o més gran. Per tant en un futur proper i si continuen els impactes tant de sobrepesca com canvi climàtic, la disminució pot ser superior al 50% i per tant, seguint el principi de precaució, aquesta espècie ha estat llistada com en perill d'extinció (Garrahou et al 2015).

Part II. Estat present i tendències de les poblacions de la Costa Catalana

Normativa pesquera a Catalunya

L'últim decret regulador de la pesca del corall vermell a les aigües interiors (on hi ha competència per legislar per part de la Generalitat de Catalunya) és el DECRET 54/2014 que substitueix el DECRET 291/1983. Hi va haver-hi un altre decret, el DECRET 389/2004 però va ser derogat: "Fins ara, la regulació de la pesca del corall vermell a Catalunya la constituïa el Decret 389/2004, de 21 de setembre, pel qual es regula la pesca de corall vermell (*Corallium rubrum*) a les aigües interiors del litoral català, que derogava l'anterior regulació continguda en el Decret 291/1983, de 7 de juliol. La Sentència del Tribunal Superior de Justícia de Catalunya 311/2008 va declarar la nul·litat del Decret 389/2004, de 21 de setembre. Aquesta Sentència va ser confirmada en cassació pel Tribunal Suprem mitjançant Sentència de 15 de desembre de 2010, amb la qual cosa la normativa reguladora de la pesca del corall vermell tornava a ser el Decret 291/1983." Per tant, les normatives vigents són totes en el DECRET 54/2014 que va ser publicat en el DOGC N° 6606 del 17 d'Abril 2014.

En aquest decret, es contemplen les mesures recomanades per la comissió General de Pesca del Mediterrani (CGPM/36/2012/1).

Les normes per regular l'extracció del corall vermell a les aigües interiors de la costa catalana són, de forma resumida, les següents:

- El corall vermell es pot extreure en aigües interiors des de la frontera amb França fins al Cap de Begur
- Al Parc Natural del Cap de Creus es pot pescar excepte en les reserves naturals de Cap Norfeu, Cap de Creus i Farallons, i a la reserva integral de l'Illa Encalladora, seguint la Llei 4/1998, de 12 de març, de protecció del Cap de Creus
- Queda prohibida l'extracció de corall vermell dins l'àmbit d'aplicació previst a la Llei 15/2010, de 28 de maig, de declaració del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, de dues reserves naturals parcials i d'una reserva natural integral.
- Hi ha deu llicències en vigor (temporada 2016, són de renovació anual), per corallers capacitats i en regla.
- La campanya anual va de l'1 de maig al 31 d'octubre
- La llicència és intransferible, i el corall ha de ser extret a mà. L'extracció sempre s'ha de fer des de la sortida fins a la posta del sol, durant els set dies de la setmana, però només es pot fer una immersió al dia.
- La mida mínima de captura es mesura segons el diàmetre basal, que ha de ser sempre superior als 7 mm; la mesura d'aquest diàmetre de les branques recollides s'efectuarà en el punt de fractura.
- Es faculta la persona titular del departament competent en matèria de pesca i afers marítims per modificar mitjançant una ordre aquesta talla mínima, degudament motivada per estudis científics sobre l'estat del recurs marí.
- Els corallers pot extreure un màxim de 300 kg bruts per any, considerant aigües interiors i exteriors. Corall brut es considera aquell que arriba a la superfície, mullat i sense tractament posterior.

- Els coralers han de facilitar les següents informacions (en un llibre específic que s'ha de lliurar a la Confraria de Pescadors en la qual estiguin adscrits) després de la seva activitat diària: dades personals del/de la coraller/a, número de llicència, lloc, fondària, pes estimat i pes real certificat de cadascuna de les extraccions, data i hora del desembarcament i resums de les vendes efectuades.

Activitat pesquera del corall a la Costa Catalana

Durant els 20 darrers anys, el nombre de llicències per la pesca del corall en les aigües interiors de Catalunya s'ha mantingut estable en 10 llicències, encara que en alguns anys es va arribar fins a les 14 llicències (Rossi i Gili 2003). Les confraries a on es reporten les captures estan totes situades a la Costa Brava (Palamós, L'Escala, Roses, Cadaqués, Port de la Selva i Llançà). La mitjana de les captures indicades pels coralers a la Direcció General de Pesca i Afers Marítims (DGPAM) en els 10 darrers anys es situa al voltant d'una tona anual, amb pics fins a una tona i mitja i mínims al voltant dels 600 kg (dades facilitades per la DGPAM) (Figura 13). Les captures en els anys 1992-2002 també es varen situar en el mateix ordre de magnitud (Rossi i Gili 2003). Aquests valors indiquen que les captures a la costa catalana representaven al voltant d'una quarta part de les captures fetes a Espanya i un percentatge que no arribaria al 3% de totes les captures anuals realitzades a nivell de la Mediterrània (estimades al voltant de les 40 tones anuals durant els darrers 10 anys) segons les dades aportades per la FAO (FAO 2016).

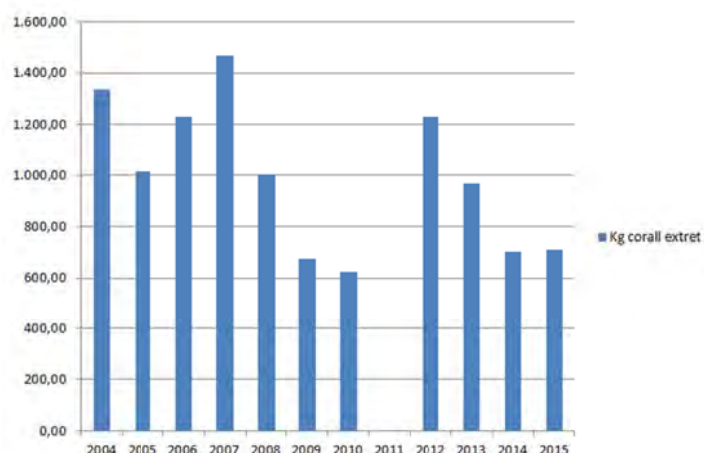


Figura 13. Captures de corall vermell *Corallium rubrum* declarades pels coralers amb llicència entre els anys 2004 i 2015 (Font Direcció General de Pesca i Afers Marítims).

El fet que els coralers només indiquin el nombre total de kilograms pescats i no el nombre i mida de les colònies pescades dificulta l'anàlisi de l'estat de les poblacions pescades legalment. Pels anys 2001 i 2002 es va analitzar, a partir de la informació aportada pels coralers, els rangs batimètrics a on es realitzaven les pesques. Mes del 80% de les activitats de pesca es varen realitzar en la franja de menys de 50 m. Aquesta informació juntament amb les dades de la estructura de talles de les poblacions (veure més avall) indiquen que les poblacions pescades en la costa catalana mostren clars signes de sobreexplotació (Tsounis et al. 2006b, Tsounis et al. 2007, Rossi et al. 2008).

Estat de les poblacions a la Costa Catalana

Per la realització d'aquest informe hem recollit tots els articles científics i informes tècnics que tractessin amb les poblacions de corall vermell a la Costa Catalana. El llistat de totes les referències trobades així com les temàtiques principals dels estudis es troba en l'Annex 1.

Distribució del corall a la Costa Catalana

A la Costa Catalana, les poblacions de corall vermell es distribueixen principalment per la Costa Brava: Cap de Begur, Montgrí i Illes Medes i en el massís del Cap de Creus. Són en aquestes zones on els corallers realitzen les seves activitats extractives, tant històrica com actualment. També hi ha poblacions en barres de roca a la zona del Maresme, però han estat menys estudiades i no tenim dades sobre la seva abundància ni del seu estat de conservació. No ens ha d'estranyar, doncs, que la distribució geogràfica dels estudis es solapi amb les zones principals de la costa catalana a on trobem poblacions de corall vermell (Figura 14).

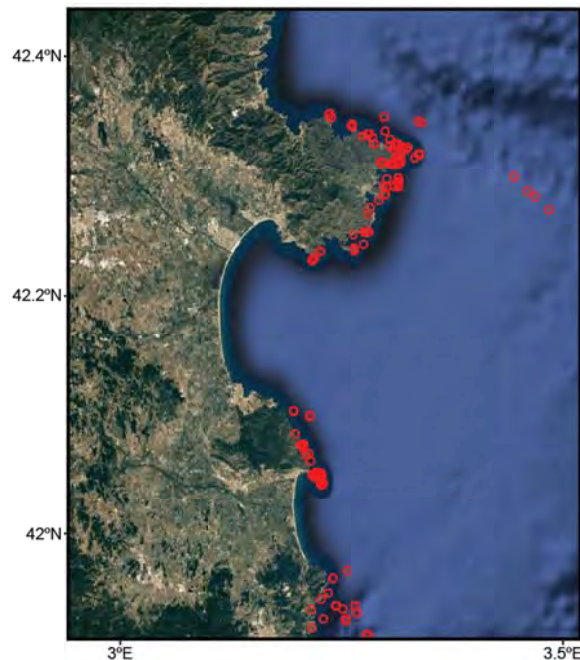


Figura 14. Localització de les poblacions de corall vermell Corallium rubrum estudiades en la Costa Catalana (veure Annex 1 per les referències).

Donades les condicions hidrogràfiques de la Costa Brava, amb aigües relativament eutròfiques i amb un hidrodinamisme destacable, trobem les poblacions de corall vermell en les zones més somes de la Mediterrània. Així a la Costa Catalana trobem poblacions partir d'uns pocs metres de fondària, que s'estenen fins més enllà els 300 m de fondària en zones de canyons submarins. Tanmateix, les poblacions més abundants es troben en la franja dels primers 50 metres, on les densitats registrades són molt més elevades que a més fondària. En els darreres anys s'han realitzat diferents campanyes d'exploració de zones profundes (> 70 m) amb ROVs (robots submarins), especialment a la zona del Cap de Creus (Rossi i Gili 2003, Rossi et al. 2008, Gili et al. 2011). Entre els anys 2009 i 2012 es varen realitzar fins a 60 transsectes de ROV en zones de la plataforma i la part sud del Canyó submarí del Cap de Creus. Per fer-se una idea de la feble abundància de corall vermell en aquestes àrees, únicament 41 colònies van ser

registrades entre els 80 i 340 m de fondària. La gran majoria es van observar al voltant dels 200-300 m de fondària dins el canyó submarí, i només una colònia va poder ser identificada a la plataforma continental (Gili et al. 2011).

Talles de les colònies

La majoria de poblacions presenten mides mitjanes que varien entre 5 i 8 mm en diàmetre basal i entre 3 i 6 cm en alçada (Figura 15). A la Costa Catalana trobem el mateix patró d'increment de les talles mitjanes del diàmetre i de l'alçada amb la fondària que també caracteritza altres zones de la Mediterrània (Figura 7). Entre 0 i 50 m, les colònies mostren talles mitjanes que rarament sobrepassen els 5 mm i els 3 cm en diàmetre i alçada respectivament. Mentre que les poblacions més fondes poden arribar fins diàmetres per sobre els 7 mm i alçades entre 6-7 cm (Figura 15).

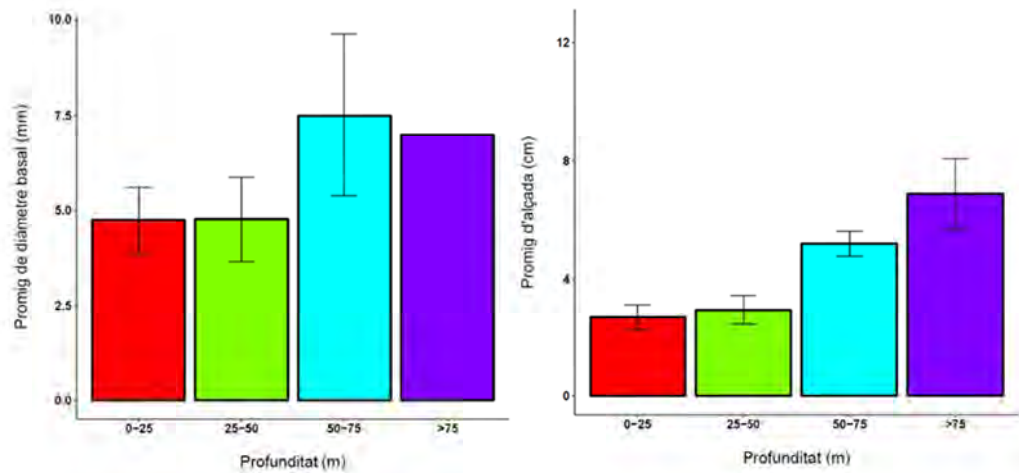


Figura 15. Diàmetres i alçades mitjanes en poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* a la Costa Catalana en funció de la fondària.

Atenent als indicadors de conservació de les poblacions presentats anteriorment (percentatges de colònies superiors a 7 mm en diàmetre i 10 cm en alçada), només un 10 % de les poblacions (4 de les 39 poblacions per les que es tenen dades) varen superar el llindar del 50% de colònies amb mides superiors als 7 mm de diàmetre (Figura 16). Pel que fa a l'alçada, cap població va superar el llindar del 30% de colònies amb mes de 10 cm. Això implica que la gran majoria de les poblacions (90%) presenta un estat de conservació deficient. És remarcable, però, que les poblacions més ben conservades es troben en àrees marines protegides.

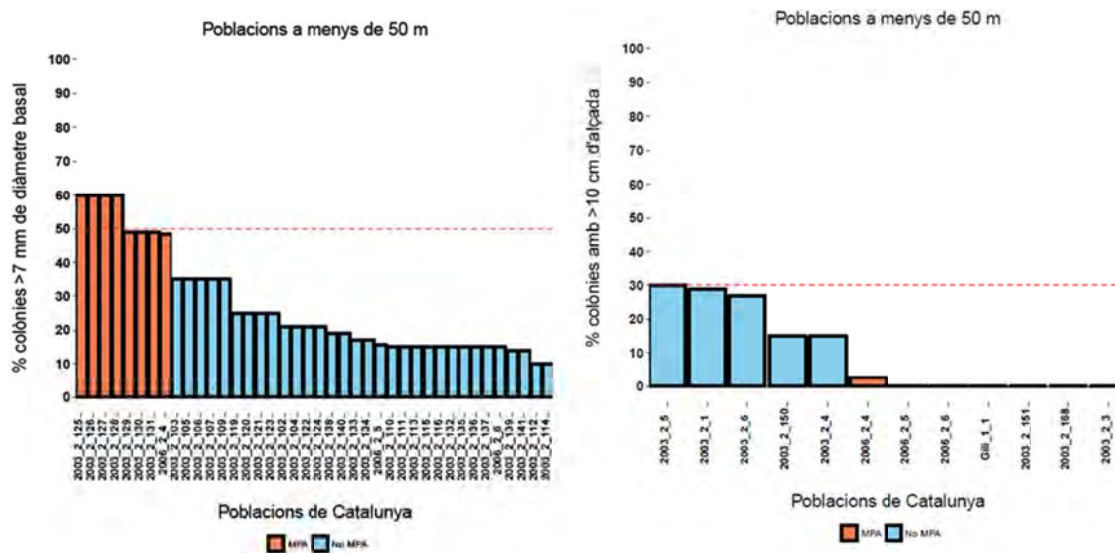


Figura 16. Percentatge de colònies > 7mm de diàmetre (esquerra) i > 10 cm alçada (dreta) en poblacions de corall vermell *Corallium rubrum* entre 0-50m de la Costa Catalana. La línia vermella indica el nivell de referencia de bon estat de conservació.

Casos de furtivisme a la costa catalana

A més de la pesca legal, les poblacions de corall vermell han estat sotmeses a una forta pressió de pesca il·legal per part de diversos actors. S'ha constatat un augment de denúncies de furtivisme en els darrers anys. L'anàlisi dels 18 informes de peritatge realitzats a petició del Cos d'Agents Rurals de la Generalitat de Catalunya i del Grupo Especial de Actividades Subacuáticas (GEAS) de la Guàrdia Civil durant els darrers 16 anys als que hem tingut accés permet caracteritzar l'impacte d'aquest tipus de pesca.

En total, hi ha analitzats més de 80 kg de corall en els informes dels comisos realitzats (Taula 2). En termes de nombre de colònies, aquestes pesques il·legals han afectat desenes de milers de colònies. Per exemple, en un sol comís es varen comptabilitzar més de 3000 colònies. A més de realitzar activitats extractives en zones especialment protegides, com per exemple el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, els furtius varen extreure majoritàriament colònies per sota de la mida legal segons la normativa catalana vigent (Taula 2). Així en la majoria de casos les colònies de mida il·legal representaven al voltant del 70- 80 % de colònies i en alguns més del 90 %. Només en un dels comisos les colònies de mida legal constituïen una mica menys del 50% (Taula 2).

*Taula 2. Llistat dels comisos de pesques il·legals de corall vermell *Corallium rubrum* en diferents punts de la Costa Catalana*

Data	Lloc	Zona	Pes (Kg)	% colònies mida il·legal	Font
01/03/2000	Indeterminat	Illes Medes	ND	90	Cos Agents Rurals i Universitat de Barcelona
22/12/2002	Pedrosa	Montgrí	4,2	93	GEAS (Guardia Civil) i Universitat de Barcelona
09/09/2003	Els Caials	Cap de Creus	4,8	76,5	Cos Agents Rurals i Universitat de Barcelona
23/04/2007	Port de la Selva	Cap de Creus	4,7	79	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
07/08/2007	Pedrosa	Montgrí	8,6	91,9	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
18/03/2008	Indeterminat	Montgrí	2	84	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
15/09/2009	Sa Riera	Begur	=	82	Cos Agents Rurals i ICM
13/09/2011	Falconera	Cap de Creus	ND	77	Cos Agents Rurals i Universitat de Barcelona
28/09/2011	Tres Coves	Montgrí	14	80	Cos Agents Rurals i ICM
05/08/2012	Roses-Cadaqués	Cap de Creus	0,9	93	Cos Agents Rurals i ICM
05/08/2012	Roses-Cadaqués	Cap de Creus	2,5	92	Cos Agents Rurals i ICM
05/08/2012	Roses-Cadaqués	Cap de Creus	2,1	69	Cos Agents Rurals i ICM
05/08/2012	Roses-Cadaqués	Cap de Creus	4	67	Cos Agents Rurals i ICM
29/10/2013	Culip	Cap de Creus	6	66	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
31/10/2013	Gat	Cap de Creus	5,9	93	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
13/02/2015	Cap Norfeu	Cap de Creus	11,8	57	Mossos de Esquadra i Inspectors DGPAM
07/10/2015	Cap Negre	Begur	-	-	Mossos de Esquadra i Inspectors DGPAM
20/10/2015	Fitó	Begur	7,5	51,7	GEAS (Guardia Civil) i SUBMON
20/05/2016	Begur	Begur	0,6	28	Mossos de Esquadra i Inspectors DGPAM
19/06/2016	Illes d'en Forat	Cap de Creus	5,3	-	Mossos de Esquadra i Inspectors DGPAM

El pes mig dels comisos és d'uns 5-6 kg. La majoria dels comisos es produeixen quan els furtius surten de l'aigua, el que indica que les quantitats comissades són el resultat d'un dia (o uns pocs dies) d'activitat. Tenint en compte que les captures anuals mitjanes declarades pels corallers són d'uns 60-100 kg (depenent dels anys) per llicència, és interessant assenyalar que els furtius estarien pescant en 1 sol dia (o uns pocs dies) al voltant d'un 10% de les captures declarades pels corallers legals. Com els furtius presenten una activitat sostinguda, podem concloure que la pressió de pesca sobre les poblacions de corall de la Costa Catalana és molt superior a la de les estadístiques oficials.

Tenint present que els corallers extrauran sempre les colònies de talla (i valor) més grans que siguin capaços de trobar, aquests resultats suggereixen que l'abundància de colònies de mida legal s'ha reduït dramàticament en els darrers anys. Com hem vist, les dades disponibles sobre les estructures de talla de les poblacions de la Costa Brava mostren clarament que les poblacions estan caracteritzades per una baixa abundància de colònies superiors a 7mm de

diàmetre. Això ens estaria indicant, com hem apuntat més amunt, l'exhauriment de colònies superiors a 7 mm de diàmetre a la Costa Catalana.

L'anàlisi dels comisos també ha permès constatar que els corallers furtius van extreure majoritàriament colònies senceres sense deixar les bases (Figura 17). Com hem vist, el mecanisme de recuperació principal de les poblacions és pel rebroll de les bases (veure més amunt) i no per reproducció sexual a través de l'assentament de les larves. De fet, en alguns informes es constata que moltes de les colònies extretes presentaven clars signes de rebroll i per tant, d'haver estat pescades parcialment en el passat. L'extracció de colònies amb substrat adherit limita fortament la capacitat de recuperació de les poblacions pescades pels furtius. A més a més, el fet que la majoria de colònies fossin de mida petita indica que a les poblacions només varen quedar les colònies de mida petita amb una capacitat de reproducció molt limitada i, per tant, també dificulta la via de recuperació a través del reclutament sexual.



Figura 17. Fotografies de colònies de corall vermell *Corallium rubrum* de la Costa Catalana. A dalt, colònies pescades amb trossos de substrat a on es fixen. A baix, colònies pescades parcialment deixant les bases.

Impacte sobre la biodiversitat

Les activitats extractives no només afecten les poblacions de corall. Examinant les restes d'altres espècies trobades en els comisos de corall, es va poder comprovar l'impacte a nivell de comunitat (Figura 18). En general, en els comisos es troben restes que corresponen a fragments i/o colònies senceres d'altres espècies. Per exemple, en un dels comisos es van trobar més de 400 restes. El seu examen va permetre identificar 38 espècies pertanyents a 5 grups d'organismes bentònics (esponges, briozous, antozous, poliquets i algues). Les espècies trobades són comunes a la comunitat del coral·ligen, i la majoria contribueixen a l'estabilitat estructural del coral·ligen. Entre les espècies identificades destaquem les algues calcàries *Lithophyllum stictaeforme* i *Mesophyllum alternans*, les esponges *Petrosia ficiformis* o els antozous *Leptopsammia pruvoti* i *Caryophyllia inornata*. Evidentment, l'objectiu dels corallers és el corall vermell i no les altres espècies que acompanyen les pesques. Per tant, els fragments d'altres espècies que acompanyen les pesques de corall vermell es poden

considerar com una petita part del que ha estat l'impacte real sobre la comunitat, doncs els corallers procuren obtenir les pesques "netes" d'altres espècies.



*Figura 18. Fotografies de les restes d'altres espècies trobades en un dels comisos de colònies de corall vermell *Corallium rubrum* de la Costa Catalana. Esquerra: vista general. Dreta: detall de les restes.*

En general, les espècies que es desenvolupen en el coral·ligen mostren una elevada parsimònia demogràfica, com és el cas del corall vermell, i per tant les fa altament vulnerables a les pertorbacions (Garrahou i Harmelin 2002, Teixidó et al. 2011). D'altra banda, les formacions coral·lígenes són el resultat d'un procés de centenars fins i tot milers d'anys (construcció vs. bioerosió) i per tant la seva destrucció es pot considerar dramàtica. L'impacte de la pesca del corall vermell té doncs repercussions immediates sobre el recurs pesquer (s'està pescant en poblacions sobre-explotades) i la deteriorament de l'hàbitat on es desenvolupa. Tenint en compte que el coral·ligen és un dels majors atractius del turisme subaquàtic de la Costa Brava, la destrucció de l'hàbitat podria comportar també pèrdues econòmiques importants per aquest sector turístic.

Explorant les trajectòries de les poblacions de la Costa Catalana

Per tal d'avaluar l'evolució futura de les poblacions de la Costa Catalana hem realitzat un exercici de modelització de les trajectòries en dues situacions contrastades: (a) on la pesca es permesa com en l'actualitat i (b) on s'estableix una moratòria indefinida de la pesca. Per la modelització vam utilitzar els models matricials parametritzats amb les observacions de poblacions sotmeses a pressió pesquera i de poblacions que es troben en zones estrictament protegides en les que no s'han constatat activitats de furtivisme.

Com a referència de la situació inicial es va utilitzar l'estructura de talles mesurada a una la població de les Illes Medes (Cova del Dofi) dintre de la zona protegida del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter. A partir d'aquesta situació inicial, es van calcular 1000 trajectòries estocàstiques incloent aleatòriament matrius anuals de poblacions pescades i no pescades durant un període de 50 anys, per tal de simular les trajectòries en els dos escenaris. Per cada any de simulació, es va calcular el nombre mitjà de colònies més grans (> 10 cm d'alçada) respecte al total de colònies i l'estructura de talles. Com hem indicat anteriorment quan una població mostra més d'un 30 % de colònies de més de 10 cm d'alçada considerem que el seu estat de conservació és òptim (Linares et al. 2010).

Els resultats mostren clarament que per assolir un percentatge per sobre d'un 30% de colònies de mida gran es requereixen més de 30 anys sota condicions de protecció i sense activitats extractives (Figura 19). Tenint en compte que les simulacions s'han realitzat a partir de les dades d'una població que s'ha beneficiat d'un règim de protecció, les estimes dels temps de recuperació obtingudes s'han de considerar de mínims (especialment per aquelles poblacions que han estat sotmeses a la pesca). En el cas que es mantinguin les activitats pesqueres, les poblacions no mostren cap signe de recuperació en els percentatges de colònies grans durant els més de 30 anys de simulació (Figura 19). En aquest darrer cas, les pesques impliquen l'extracció de colònies de mida petita i de poc valor comercial comparat amb les colònies de mida gran.

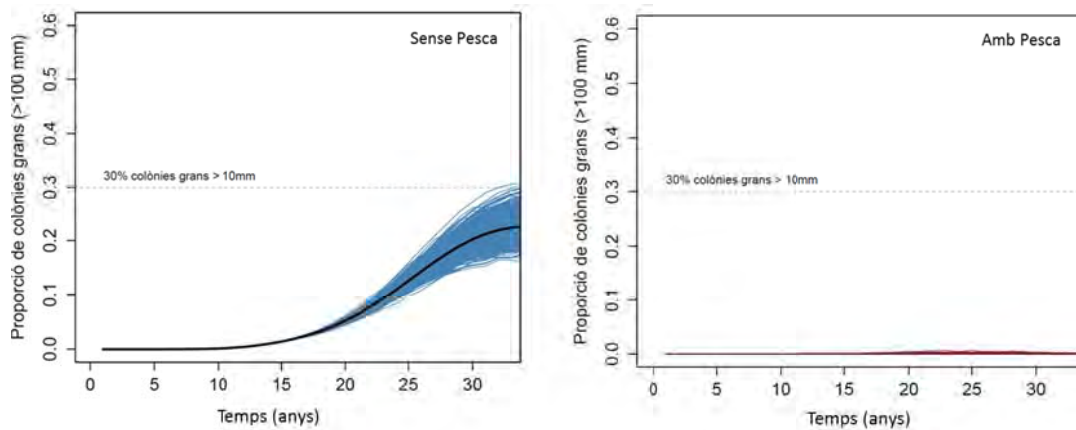


Figura 19. Evolució del percentatge colònies grans de corall vermell *Corallium rubrum* (> 10 cm d'alçada) en dos situacions contrastades: amb moratòria de pesca (esquerra) i on la pesca continua permesa com actualment (dreta).

Conclusions i recomanacions per la gestió de la pesca

Les poblacions de corall vermell de la Costa Catalana no poden suportar la pressió de pesca actuals sense posar en perill la seva persistència. La constatació de l'absència de colònies de mida legal en les poblacions actuals, fins i tot dins de les zones protegides, deixa clar el diagnòstic de sobreexplotació de les poblacions. Això és especialment cert en les poblacions entre 0-50 m de fondària, que són les que concentren les activitats extractives. Tenint en compte que el corall vermell pot assolir talles molt superiors a les que s'observen en les poblacions actuals, és evident que les poblacions de corall han patit una dramàtica reducció de la seva biomassa a causa de la pesca. Els canvis en les estructures de talles i pèrdua de biomassa de les poblacions té conseqüències negatives pel bon funcionament de les poblacions i dificulta els processos de recuperació naturals. A més podem afirmar que la majoria de poblacions es poden considerar ecològicament extingides. Això significa que ja no tenen el paper d'estructuradores de les comunitats, on antigament dominaven i eren molt més abundants.

Només una protecció efectiva de les poblacions permetrà recuperar el bon funcionament i el paper ecològic de les poblacions de corall vermell. La recuperació funcional de les poblacions és una prioritat per garantir la seva persistència i afavorir la seva recuperació. A més a més, garantir el manteniment del pool genètic i la xarxa de connexions entre poblacions serà clau per a què puguin fer front a les pressions ambientals lligades al canvi climàtic que hauran d'afrontar en les properes dècades.

Examinades les evidències científiques sobre l'ecologia de poblacions del corall vermell, l'estat de les poblacions tant a nivell general com les de la Costa Catalana, la **principal recomanació per tal de garantir la perennitat de les poblacions de corall vermell i les activitats de pesca en el futur és declarar una moratòria de la pesca en tota la Costa Catalana de 20 anys renovables.**

La **moratòria** s'hauria d'acompanyar de les següents mesures

- Estudis de seguiment de l'evolució de les poblacions de corall vermell a la Costa Catalana.
- Establir zones de protecció integral per les poblacions de corall vermell. L'anàlisi de la seva evolució hauria de servir de referència per a la conservació i gestió pesquera de les poblacions de corall.
- Regular el nombre de visites de capbussadors en les zones d'immersió a on es trobin poblacions de corall per tal de limitar els impactes involuntaris durant les visites. Per exemple, es podrien establir visites guiades per instructors qualificats.
- Caracterització genètica extensiva de les poblacions de la Costa Catalana per tal d'establir una genoteca capaç d'identificar amb precisió suficient l'origen de les pesques (legals i il·legals) i ajudar a complir la normativa establerta.
- Establir protocols de restauració per les poblacions de corall vermell. Accions de restauració en zones molt afectades per la pesca podrien ajudar a accelerar la recuperació de les poblacions.

- Implementar mesures de coordinació entre els diferents estaments implicats en la conservació del corall vermell: administració de la Generalitat, administració del govern d'Espanya i equips de recerca.

Entenem que només amb aquesta moratòria es donaria el temps suficient a les poblacions per posar en marxa els mecanismes per una recuperació efectiva. Una vegada constatada la recuperació de les poblacions, la reobertura de l'activitat pesquera hauria d'anar acompanyada de canvis significatius en la normativa de pesca vigent. La nova normativa hauria de garantir la sostenibilitat de la pesca en base a criteris científics que permetin mantenir la funcionalitat de les poblacions i per tant incrementant la seva resiliència una vegada hagin estat pescades.

Entre les mesures que s'haurien d'incloure en aquesta normativa indiquem:

- Incrementar la mida legal de pesca a 1 cm de diàmetre a la base i 10 cm en alçada
- Prohibir la pesca de colònies senceres. La pesca hauria de deixar sempre una part de la colònia viva (idealment la base més alguna branca principal) per tal d'afavorir la ràpida recuperació de les colònies.
- Prohibir la pesca en la zona de 0-50 m de fondària. Aquesta zona ha estat la més castigada per la pesca i a més a més és la zona afectada pels fenòmens de mortalitat associada a l'escalfament i als impactes de les visites dels capbussadors.
- Controlar la mida de les colònies pescades i establir quotes diàries d'extracció
- Reforçar la vigilància de les zones protegides i les zones de pesca.

Bibliografia

Angiolillo, M., Gori, A., Canese, S., Bo, M., Priori, C., Bavestrello, G., & Santangelo, G. (2015). Distribution and population structure of deep-dwelling red coral in the Northwest Mediterranean. *Marine Ecology* 1–17

Aurelle D. & Ledoux J.B. (2013) Interplay between isolation by distance and genetic clusters in the red coral *Corallium rubrum*: insights from simulated and empirical data. *Conservation Genetics*, 14(3) ,705-716

Aurelle D., Ledoux J. B., Rocher C., Borsa P., Chenuil A. et al. (2011) Phylogeography of the red coral (*Corallium rubrum*): inferences on the evolutionary history of a temperate gorgonian. *Genetica* 139: 855-869

Ballesteros E., (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 44: 123-195.

Bavestrello G., Bo M., Bertolino M., Betti F., & Cattaneo-Vietti R. (2014). Long-term comparison of structure and dynamics of the red coral metapopulation of the Portofino Promontory (Ligurian Sea): a case-study for a Marine Protected Area in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 36, 1-10.

Boavida, J., Paulo, D., Aurelle, D., Arnaud-Haond, S., Marschal, C., Reed, J. & Serrão, E. A. (2016). A Well-Kept Treasure at Depth: Precious Red Coral Rediscovered in Atlantic Deep Coral Gardens (SW Portugal) after 300 Years. *PLOS ONE*, 11(1), e0147228.

Bramanti L, Vielmini I, Rossi S, Tsounis G, Iannelli M, Cattaneo-Vietti R, Priori C, Santangelo G (2014). Demographic parameters of two populations of red coral (*Corallium rubrum* L. 1758) in the North Western Mediterranean. *Marine Biology* 161:1015–1026

Bramanti L., Iannelli M. & Santangelo G. (2009) Mathematical modelling for conservation and management of gorgonian corals: young and olds, could they coexist? *Ecological Modelling* 220: 2851- 2856.

Bramanti L., Magagnini G., De Maio L. & Santangelo G. (2005) Recruitment, early survival and growth of the Mediterranean red coral *Corallium rubrum* (L 1758), a 4-year study. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 314: 69-78.

Bramanti L, Movilla J, Guron M, Calvo E, Gori A, Dominguez-Carrio C, Grinyo J, Lopez-Sanz A, Martinez-Quintana A, Pelejero C, Ziveri P, Rossi S (2013) Detrimental effects of Ocean Acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). *Global Change Biology* 19: 1897-1908

Bruckner A.W. (2009) Rate and extent of decline in *Corallium* (pink and red coral) populations: existing data meet the requirements for a CITES Appendix II listing. *Marine Ecology Progress Series* 397: 319–332

Cannas, R., Sacco, F., Cau, A. et al. (2015) New insights into connectivity patterns of mesophotic red coral (*Corallium rubrum*) populations. *Hydrobiologia* 759: 63.

Cattaneo-Vietti R & Bavestrello G (1994) Four years rearing experiments on the Mediterranean red coral. *Biologia Marina Mediterranea* 1: 413-420

Cerrano C., Bavestrello G., Bianchi C. N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A. & Sponga F. (2000) A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3: 284-293

Chaabane S (2017) Exploration de la géochimie du corail rouge Méditerranéen *Corallium rubrum* pour les reconstitutions paléocéanographiques. These Doctorale de L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Université de Sfax, Tunisia. 201 pp.

Chessa L.A., Pais A., Cudoni S. (1993) Preliminary research on the transplantation of red coral, *Corallium rubrum* (L.), on to an artificial reef in NW Sardinia. *Bollettino Oceanográfico Teórico e Applicato* 11(3-4): 191-197

Chessa L.A., Pais A., Cudoni S. (1997) Transplantation techniques of red coral, *Corallium rubrum* L.). *Biologia Marina Mediterranea* 4: 475-477

Chintiroglou, H., Dounas, C., & Koukouras, A. (1989). The presence of *Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758) in the eastern Mediterranean Sea. *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde in Berlin. Zoologisches Museum und Institut für Spezielle Zoologie (Berlin)*, 65(1), 145-149

Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5(8): e11842

Costantini F. & Abbiati M. (2016) Into the depth of population genetics: pattern of structuring in mesophotic red coral populations *Coral Reefs* 35: 39.

Costantini F., Fauvelot C. & Abbiati M. (2007b) Genetic structuring of the temperate gorgonian coral (*Corallium rubrum*) across the western Mediterranean Sea revealed by microsatellites and nuclear sequences. *Molecular Ecology* 16: 5168-5182.

Costantini F., Fauvelot C. & Abbiati M., (2007a) Fine-scale genetic structuring in *Corallium rubrum*: evidence of inbreeding and limited effective larval dispersal. *Marine Ecology Progress Series* 340: 109-119.

Costantini F., Rossi S., Pintus E., Cerrano C., Gili J. M. & Abbiati M. (2011) Low connectivity and declining genetic variability along a depth gradient in *Corallium rubrum* populations. *Coral Reefs*: 1-13

Ellner S.P. & Rees M. (2006). Integral projection models for species with complex demography. *The American Naturalist* 167(3), 410-428.

FAO (2016) Fish J. FAO fishery and aquaculture global statistics. Global capture production – quantity 1970-2014

Gallmetzer I., Haselmair A. & Velimirov B. (2010) Slow growth and early sexual maturity: Bane and boon for the red coral *Corallium rubrum*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 90:1-10

Garrabou J. & Harmelin J.G. (2002) A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. Journal of Animal Ecology 71 :966-978

Garrabou J., Coma R., Bensoussan N., Bally M., Chevaldonné P. et al. (2009) Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. Global Change Biology 15:1090-1103

Garrabou J., Pérez T., Sartoreto S. & Harmelin J.G. (2001) Mass mortality event in red coral (*Corallium rubrum*, Cnidaria, Anthozoa, Octocorallaria) populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). Marine Ecology Progress Series 217 : 263-272

Garrabou, J., Cattaneo-Vietti, R., Santangelo, G., Linares, C.L., Cerrano, C., Garcia, S., Goffredo, S. & Ocaña, O. (2015). *Corallium rubrum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015)e.T50013405A50605375.

Gili J.M., Madurell T., Requena S., Orejas C., Gori A., Purroy A., Domínguez C., Lolacono C., Isla E., Lozoya JP, Carboneras C., Grinyó J. (2011). Caracterización física y ecológica del área marina del Cap de Creus. Informe final área LIFE+ INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732). Instituto de Ciencias del Mar/CSIC (Barcelona). Coordinación: Fundación Biodiversidad, Madrid, 272 pág.

Harmelin J.G. (1984) Biologie du corail rouge. Paramètres de populations, croissance et mortalité naturelle. Etat des connaissances en France. FAO Fish Rep 306:99–103

Laborel J. & Vacelet J. (1961). Répartition bionomique de *Corallium rubrum* Lmck dans les grottes et falaises sous-marines. Rapport CIESM, 16 (2) : 465-469

Ledoux J. B., Antunes A., Haguenauer A., Pratlong M., Costantini F., Abbiati M., Aurelle D. (2016) Molecular forensics into the sea: how molecular markers can help to struggle against poaching and illegal trade in precious corals? "The Cnidaria, past, present and future. The world of Medusa and her sisters" p. 729-745 Editors: Goffredo, Stefano, Dubinsky, Zvy (Eds.) DOI: 10.1007/978-3-319-31305-4 pp.855

Ledoux J.B., Aurelle D., Feral J.P., Garrabou J. (2013) Molecular forensics of the precious Mediterranean red coral, *Corallium rubrum*: testing DNA extraction and microsatellite genotyping using dried colonies. Conservation Genetic Resources 5, 327-330.

Ledoux J.B., Garrabou J., Bianchimani O., Drap P., Feral J.P., Aurelle D. (2010b) Fine-scale genetic structure and inferences on population biology in the threatened Mediterranean red coral, *Corallium rubrum*. Molecular Ecology 19:4204–4216

Ledoux J.B., Mokhtar-Jamai K., Roby C., Feral J.P. Garrabou J. & Aurelle D. (2010a) Genetic survey of shallow populations of the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758): new insights into evolutionary processes shaping current nuclear diversity and implications for conservation. Molecular Ecology 19:675-690

Linares C., Bianchimani O., Torrents O., Marschal C., Drap P. & Garrahou J. (2010). Marine Protected Areas and the conservation of long-lived marine invertebrates: the Mediterranean red coral. *Marine Ecology Progress Series* 402: 69-79.

Linares C., Garrahou J., Hereu B., Díaz D., Marschal C., Sala E. & Zabala M. (2012) Assessing the effectiveness of marine reserves on overexploited long-lived sessile invertebrates. *Conservation Biology* 26:88-96

Marchetti R. (1965). Ricerche sul corallo rosso della costa Ligure e Toscana. II. Il promontorio di Portofino. *Istituto Lombardo* 99:279-316.

Marschal, C, Garrahou, J, Harmelin JG & Pichon, M (2004) Growth rings in red coral *Corallium rubrum*: techniques for age and growth rate determination. *Coral Reefs* 23:423-432

Montero-Serra I., Garrahou, J. Doak D.F., Figuerola L., Hereu B., Ledoux J.B. & Linares C. Accounting for life-history strategies and timescales in marine restoration. *Conservation Letters* (*accepted*).

Montero-Serra I., Linares C., García M., Pancaldi F., Frleta-Valić M., Ledoux J.B., Zuberer F., Merad D., Drap P. & Garrahou, J. (2015). Harvesting effects, recovery mechanisms, and management strategies for a long-lived and structural precious coral. *PLOS ONE*, 10(2), e0117250.

Morris W. F., & Doak D.F. (2002). *Quantitative conservation biology*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.

Pancaldi F. (2012) Long-term demographic traits in the red coral *Corallium rubrum* populations: implications for conservation and management plans. Master Thesis. University of Barcelona.

Perez, T, Garrahou, J, Sartoretto, S, Harmelin, JG, Francour, P & Vacelet, J (2000) Mass mortality of marine invertebrates: an unprecedented event in the North Occidental Mediterranean. *C. R. Acad. Sci. Paris* 323(10):853-865

Priori C., Mastascusa V, Erra F, Angiolillo M, Canese S. & Santangelo G. (2013). Demography of deep-dwelling red coral populations. Age and reproductive structure assessment. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 118: 43-49.

Rossi S & Gili JM (2003) Informe Final del Projecte “Estudio y seguimiento del estado de las poblaciones de coral rojo *Corallium rubrum* en el litoral catalán” Novembre 2001-Novembre 2003. Generalitat de Catalunya.

Rossi S., Tsounis G., Orejas C., Padrón T., Gili J.M., Bramanti L., Teixidó N., & Gutt J. (2008) Survey of deep-dwelling red coral (*Corallium rubrum*) populations at Cap de Creus (NW Mediterranean). *Marine Biology* 154: 533-545

Santangelo G., Bramanti L. & Iannelli M. (2007) Population dynamics and conservation biology of the over-exploited Mediterranean red coral. *Journal of Theoretical Biology* 244: 416-423.

Santangelo G., Bramanti L., Rossi S., Tsounis G., Vielmini I., Lott C. & Gili J.M. (2012). Patterns of variation in recruitment and post-recruitment processes of the Mediterranean precious gorgonian coral *Corallium rubrum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 411: 7-13.

Santangelo G., Carletti E., Maggi E., & Bramanti L. (2003) Reproduction and population sexual structure of the overexploited Mediterranean red coral *Corallium rubrum*. *Marine Ecology Progress Series* 248: 99-108..

Teixido N., Garrabou J. & Harmelin J.G. (2011) Low dynamics, high longevity and persistence of sessile structural species dwelling on Mediterranean coralligenous outcrops. *PLoS ONE* 6(8): e23744.

Tescione, G. (1973) *The Italians and Their Coral Fishing*. Naples: Fausto Fiorentino.

Torrents O., Garrabou J., Harmelin J.G. & Marschal C. (2005) Age and size at first reproduction in the precious red coral *Corallium rubrum*. *Biological Conservation* 121:391-397

Torrents O. & Garrabou J. (2011). Fecundity of red coral *Corallium rubrum* (L.) populations inhabiting in contrasting environmental conditions in the NW Mediterranean. *Marine Biology*, 158(5), 1019-1028.

Tsounis G, Rossi S, Grigg R, Santangelo G, Bramanti L, Gili JM (2010) The exploitation and conservation of precious corals. *Oceanography & Marine Biology: An Annual Review* 48: 161-212

Tsounis G., Rossi S., Gili J.-M. & Arntz W. E. (2007) Red coral fishery at the Costa Brava (NW Mediterranean): Case study of an overharvested precious coral. *Ecosystems* 10: 975-986.

Tsounis, G., Rossi S., Aranguren M., Gili J.-M. & Arntz W. (2006a) Effects of spatial variability and colony size on the reproductive output and gonadal development cycle of the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.). *Marine Biology* 148: 513-527

Tsounis G, Rossi S, Gili JM, Arntz W (2006b). Population structure of an exploited benthic cnidarian: the red coral case study. *Marine Biology* 149:1059-1070

UNEP-MAP-RAC/SPA, PNUE-PAM-CAR/ASP. 2008. Procedure for the revision of the areas included in the SPAMI List - Procédure pour la révision des aires incluses dans la liste des ASPIM.

Vighi M. (1970) Ricerche sul ciclo riproduttivo del corallo rosso (*C. rubrum* (L)) del promontorio di Portofino. *Lincei-Mem. Sci. fisiche*, Ser. III 1-26.

Weinberg S. (1978). Mediterranean octocorallian communities and the abiotic environment. *Marine Biology* 49:41-57.

Zibrowius H., Monteiro-Marques V. & Grasshoff M. (1984) La répartition du *Corallium rubrum* dans l'Atlantique (Cnidaria: Anthozoa: Gorgonaria). *Téthys* 11:163-170

Annex I

Referències bibliogràfiques que contenen informació sobre les poblacions de coral vermell de la Costa Catalana. **DI** Distribució; **DE** Demografia; **GE** Genètica

Aurelle D., Ledoux J.-B., Rocher C., Borsa P., Chenuil A. and J.-P. Féral, 2011. Phylogeography of the red coral (*Corallium rubrum*): inferences on the evolutionary history of a temperate gorgonian. *Genetica* 139: 7 855-869. **DI** **GE**

Bramanti L., Movilla J., Guron M., Calvo E., Gori A., Dominguez- Carrió C., Grinyó J., Lopez-Sanz A., Martinez-Quintana A., Pelejero C., Ziveri P. and S. Rossi, 2013. Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*). *Global Change Biology* 19: 6 1897-1908. **DI**

Bramanti L., Rossi, S., Tsounis G., Gili J. M. and G. Santangelo, 2007. Settlement and early survival of red coral on artificial substrates in different geographic areas: some clues for demography and restoration. *Hydrobiologia* 580: 1 219-224. **DI**

Bramanti L., Vielmini I., Rossi S., Tsounis G., Lannelli M., Cattaneo-Vietti R., Priori C. and G. Santangelo, 2014. Demographic parameters of two populations of red coral (*Corallium rubrum* L. 1758) in the North Western Mediterranean. *Marine Biology* 161: 5 1015-1026. **DI** **DE**

Bruckner, A. W., 2009. Rate and extent of decline in *Corallium* (pink and red coral) populations: existing data meet the requirements for a CITES Appendix II listing. *Marine Ecology Progress Series* 397: 319-332. **DI** **DE**

Costantini F., Fauvelot C. and M. Abbiati, 2007. Genetic structuring of the temperate gorgonian coral (*Corallium rubrum*) across the western Mediterranean Sea revealed by microsatellites and nuclear sequences. *Molecular Ecology* 16: 24 5168-5182. **DI** **GE**

Costantini F., Rossi S., Pintus E., Cerrano C., Gili J.-M. and M. Abbiati, 2011. Low connectivity and declining genetic variability along a depth gradient in *Corallium rubrum* populations. *Coral Reefs* 30: 4 991-1003. **DI** **GE**

Kipson S., Fourt M., Teixidó N., Cebrian E., Casas E., Ballesteros E., Zabala M. and J. Garrabou, 2011. Rapid Biodiversity Assessment and Monitoring Method for Highly Diverse Benthic Communities: A Case Study of Mediterranean Coralligenous Outcrops. *Plos One* 6: 11 42675. **DI**

Ledoux J.-B., Mokhtar-Jamäi K., Roby C., Féral J.-P., Garrabou J. and D. Aurelle, 2010. Genetic survey of shallow populations of the Mediterranean red coral [*Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758)]: new insights into evolutionary processes shaping nuclear diversity and implications for conservation. *Molecular Ecology* 19: 4 675-690. **DI** **GE**

Ledoux J.-B., Aurelle D., Féral J.-P. and J. Garrabou, 2013. Molecular forensics in the precious Mediterranean red coral, *Corallium rubrum*: testing DNA extraction and microsatellite genotyping using dried colonies. *Conservation Genetics* 5: 2 327-330. **DI** **GE**

Linares C., Garrabou J., Hereu B., Diaz D., Marschal C., Sala E. and M. Zabala, 2012. Assessing the Effectiveness of Marine Reserves on Unsustainably Harvested Long-Lived Sessile Invertebrates. *Conservation Biology* 26: 1 88-96. **DI** **DE**

Marschal C., Garrabou J., Harmelin J. G. and M. Pichon, 2004. A new method for measuring growth and age in the precious red coral *Corallium rubrum* (L.). *Coral Reefs* 23: 3 423-432. **DI** **DE**

Pozo, M., Sardú, S., Reviriego, B., Llop, J., Mena, I., Mir, F., 2011. Seguiment de la Biodiversitat marina al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter i al Parc Natural de Cap de Creus 2009-2012. Pozo M. and S. Sardú, 2011. Comunitat de Coral·ligen p: 207-264. **DI DE**

Rossi, S. & J. M. Gili, 2003. Estudio y seguimiento del estado de las poblaciones de coral rojo *Corallium rubrum* en el litoral catalán, Noviembre 2001–Noviembre 2003. Informe final de proyecto, Generalitat de Catalunya PCC 30103, Barcelona. **DI DE**

Rossi S. and G. Tsounis , 2007. Temporal and spatial variation in protein, carbohydrate, and lipids levels in *Corallium rubrum* (Anthozoa, Octocorallia). Marine Biology 152: 2 429-439. **DI**

Rossi S., Tsounis G., Orejas C., Padrón T., Gili J-M, Bramanti L., Teixidó N. and J. Gutt, 2008. Survey of deep-dwelling red coral (*Corallium rubrum*) populations at de Cap de Creus (NW Mediterranean). Marine Biology 154: 533-545. **DI DE**

Santangelo G., Bramanti L., Rossi S., Tsounis G., Vielmini I., Lott C. and J.M. Gili, 2012. Patterns of variations in recruitment and post-recruitment processes of the Mediterranean precious gorgonian coral *Corallium rubrum*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 411: 10. **DI DE**

Tsounis G., Rossi S., Gili J-M and W. E. Arntz, 2006. Effects of spatial variability and colony size on the reproductive output and gonadal development cycle of the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.). Marine Biology 148: 3 513-527. **DI DE**

Tsounis G., Rossi S., Gili J-M and W. E. Arntz, 2007. Red Coral Fishery at the Costa Brava (NW Mediterranean): Case Study of an Overharvested Precious Coral. Ecosystems 10: 6 975-986. **DI DE**

Tsounis G., Rossi S., Gili J-M. and W. E. Arntz, 2006. Population structure of an exploited benthic cnidarian: the case study of red coral (*Corallium rubrum* L.). Marine Biology 149: 5 1059-1070. **DI DE**

Tsounis G., Rossi S., Laudien J., Bramanti L., Fernández N., Gili J-M. and W. Arntz, 2006. Diet and seasonal prey capture rates in the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.). Marine Biology 149: 2 313-325. **DI**

Tsounis G., 2005. Demography, Reproductive Biology and Trophic Ecology of Red Coral (*Corallium rubrum* L.) at the Costa Brava (NW Mediterranean): Ecological Data as a Tool for Management. 1-118. **DI DE**

Vielzeuf D., Garrabou J., Baronnet A., Grauby O. and C. Marschal, 2008. Nano to macroscale biomineral architecture of red coral (*Corallium rubrum*). American Mineralogist 93: 1799-1815. **DI**

Vielzeuf D., Garrabou J., Gagnon A., Ricolleau A., Adkins J., Günther D., Hametner K., Devidal J-L. Reusser E., Perrin J. and N. Floquet, 2013. Distribution of sulphur and magnesium in the red coral. Chemical Geology 355: 13-27. **DI**