

Supplementary Online Material:  
Functional Group Based Marine Ecosystem  
Assessment for the Bay of Biscay via Elasticity  
Analysis

Geoffrey R. Hosack<sup>1</sup> and Verena M. Trenkel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation,  
Hobart, Tasmania, Australia

<sup>2</sup>Ifremer, Nantes, France

## Functional Group Membership and Data

Table S1: Functional group species membership.

Species	Functional Group
<i>Ammodytes spp</i>	Benthivore
<i>Aspitrigla cuculus</i>	Benthivore
<i>Balistidae</i>	Benthivore
<i>Belone belone</i>	Benthivore
<i>Boops boops</i>	Benthivore
<i>Bothidae</i>	Benthivore
<i>Brachyura</i>	Benthivore
<i>Buglossidium luteum</i>	Benthivore
<i>Cancer pagurus</i>	Benthivore
<i>Caproidae</i>	Benthivore
<i>Carcinus maenas</i>	Benthivore
<i>Cephalopoda</i>	Benthivore
<i>Cepola macrophthalma</i>	Benthivore
<i>Chelidonichthys lastoviza</i>	Benthivore
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Benthivore
<i>Citharus linguatula</i>	Benthivore
<i>Coryphaenoides rupestris</i>	Benthivore
<i>Crangon crangon</i>	Benthivore
<i>Crustacea</i>	Benthivore
<i>Dicologlossa cuneata</i>	Benthivore
<i>Diplodus cervinus</i>	Benthivore

Continued on next page

**Table S1 – continued from previous page**

Species	Functional Group
<i>Diplodus sargus</i>	Benthivore
<i>Eutrigla gurnardus</i>	Benthivore
<i>Gaidropsarus spp</i>	Benthivore
<i>Galatheidae</i>	Benthivore
<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>	Benthivore
<i>Haemulidae(=Pomadasyidae)</i>	Benthivore
<i>Helicolenus dactylopterus</i>	Benthivore
<i>Hippoglossoides platessoides</i>	Benthivore
<i>Homarus gammarus</i>	Benthivore
<i>Labridae</i>	Benthivore
<i>Labrus bergylta</i>	Benthivore
<i>Limanda limanda</i>	Benthivore
<i>Lithognathus mormyrus</i>	Benthivore
<i>Loliginidae</i>	Benthivore
<i>Maja squinado</i>	Benthivore
<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	Benthivore
<i>Microchirus variegatus</i>	Benthivore
<i>Microstomus kitt</i>	Benthivore
<i>Mora moro</i>	Benthivore
<i>Moridae</i>	Benthivore
<i>Mugilidae</i>	Benthivore
<i>Mullus barbatus</i>	Benthivore
<i>Mullus spp</i>	Benthivore
<i>Necora puber</i>	Benthivore
<i>Nephrops norvegicus</i>	Benthivore
<i>Oblada melanura</i>	Benthivore
<i>Octopodidae</i>	Benthivore
<i>Octopus vulgaris</i>	Benthivore
<i>Pagellus acarne</i>	Benthivore
<i>Pagellus erythrinus</i>	Benthivore
<i>Palaemon longirostris</i>	Benthivore
<i>Palaemon serratus</i>	Benthivore
<i>Palinurus elephas</i>	Benthivore
<i>Palinurus mauritanicus</i>	Benthivore
<i>Parapenaeus longirostris</i>	Benthivore
<i>Phycis blennoides</i>	Benthivore
<i>Phycis phycis</i>	Benthivore
<i>Plectorhinchus mediterraneus</i>	Benthivore
<i>Pleuronectiformes</i>	Benthivore
<i>Sarpa salpa</i>	Benthivore
<i>Scyliorhinidae</i>	Benthivore
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Benthivore
<i>Sepia elegans</i>	Benthivore
<i>Sepia officinalis</i>	Benthivore
<i>Sepia orbignyana</i>	Benthivore
<i>Sepiidae, Sepiolidae</i>	Benthivore
<i>Solea lascaris</i>	Benthivore

Continued on next page

**Table S1 – continued from previous page**

<b>Species</b>	<b>Functional Group</b>
<i>Solea senegalensis</i>	Benthivore
<i>Solea solea</i>	Benthivore
<i>Solea spp</i>	Benthivore
<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Benthivore
<i>Trachinus draco</i>	Benthivore
<i>Trigla spp</i>	Benthivore
<i>Triglidae</i>	Benthivore
<i>Trisopterus luscus</i>	Benthivore
<i>Trisopterus minutus</i>	Benthivore
<i>Anarhichas lupus</i>	Demersal Piscivore
<i>Anguilla anguilla</i>	Demersal Piscivore
<i>Anguilla spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Aphanopus carbo</i>	Demersal Piscivore
<i>Argyrosomus regius</i>	Demersal Piscivore
<i>Beryx spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Brosme brosme</i>	Demersal Piscivore
<i>Centrophorus squamosus</i>	Demersal Piscivore
<i>Centroscymnus coelolepis</i>	Demersal Piscivore
<i>Centroscymnus crepidater</i>	Demersal Piscivore
<i>Conger conger</i>	Demersal Piscivore
<i>Dalatias licha</i>	Demersal Piscivore
<i>Dasyatis pastinaca</i>	Demersal Piscivore
<i>Deania calcea</i>	Demersal Piscivore
<i>Dentex dentex</i>	Demersal Piscivore
<i>Dentex spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Demersal Piscivore
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	Demersal Piscivore
<i>Dicentrarchus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Epigonus telescopus</i>	Demersal Piscivore
<i>Epinephelus marginatus</i>	Demersal Piscivore
<i>Gadiformes</i>	Demersal Piscivore
<i>Gadus morhua</i>	Demersal Piscivore
<i>Galeorhinus galeus</i>	Demersal Piscivore
<i>Galeus melastomus</i>	Demersal Piscivore
<i>Hexanchus griseus</i>	Demersal Piscivore
<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	Demersal Piscivore
<i>Hoplostethus atlanticus</i>	Demersal Piscivore
<i>Hydrolagus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Lepidopus caudatus</i>	Demersal Piscivore
<i>Lepidorhombus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>	Demersal Piscivore
<i>Lophiidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Lophius piscatorius</i>	Demersal Piscivore
<i>Lophius spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Macrourus berglax</i>	Demersal Piscivore
<i>Merlangius merlangus</i>	Demersal Piscivore
<i>Merluccius merluccius</i>	Demersal Piscivore

Continued on next page

**Table S1 – continued from previous page**

<b>Species</b>	<b>Functional Group</b>
<i>Molva dypterygia</i>	Demersal Piscivore
<i>Molva macrophthalma</i>	Demersal Piscivore
<i>Molva molva</i>	Demersal Piscivore
<i>Molva spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Mustelus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Myliobatis aquila</i>	Demersal Piscivore
<i>Pagellus bogaraveo</i>	Demersal Piscivore
<i>Pagrus pagrus</i>	Demersal Piscivore
<i>Platichthys flesus</i>	Demersal Piscivore
<i>Pleuronectes platessa</i>	Demersal Piscivore
<i>Pollachius pollachius</i>	Demersal Piscivore
<i>Pollachius virens</i>	Demersal Piscivore
<i>Polyprion americanus</i>	Demersal Piscivore
<i>Psetta maxima</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja batis</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja brachyura</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja circularis</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja clavata</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja fullonica</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja microocellata</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja montagui</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja naevus</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja oxyrinchus</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Raja undulata</i>	Demersal Piscivore
<i>Rajidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Rajiiformes</i>	Demersal Piscivore
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	Demersal Piscivore
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Demersal Piscivore
<i>Scorpaena scrofa</i>	Demersal Piscivore
<i>Scorpaena spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Scorpaenidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Scyliorhinus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	Demersal Piscivore
<i>Scymnodon ringens</i>	Demersal Piscivore
<i>Sebastes spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Sparidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Sparus aurata</i>	Demersal Piscivore
<i>Squalidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Squalidae, Scyliorhinidae</i>	Demersal Piscivore
<i>Squalus acanthias</i>	Demersal Piscivore
<i>Squalus spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Squatina squatina</i>	Demersal Piscivore
<i>Torpedo marmorata</i>	Demersal Piscivore
<i>Torpedo spp</i>	Demersal Piscivore
<i>Trachyscorpia cristulata</i>	Demersal Piscivore
<i>Zeus faber</i>	Demersal Piscivore

Continued on next page

**Table S1 – continued from previous page**

Species	Functional Group
<i>Alopias spp</i>	Pelagic Piscivore
<i>Alopias vulpinus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Auxis thazard</i>	Pelagic Piscivore
<i>Brama brama</i>	Pelagic Piscivore
<i>Cetorhinus maximus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Euthynnus alletteratus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Isurus oxyrinchus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Pelagic Piscivore
<i>Lamna nasus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Lichia amia</i>	Pelagic Piscivore
<i>Loliginidae, Ommastrephidae</i>	Pelagic Piscivore
<i>Loligo spp</i>	Pelagic Piscivore
<i>Makaira nigricans</i>	Pelagic Piscivore
<i>Petromyzon marinus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Prionace glauca</i>	Pelagic Piscivore
<i>Salmo salar</i>	Pelagic Piscivore
<i>Sarda sarda</i>	Pelagic Piscivore
<i>Selachimorpha (Pleurotremata)</i>	Pelagic Piscivore
<i>Tetrapturus albidus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnini</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnus alalunga</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnus albacares</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnus atlanticus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnus obesus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Thunnus thynnus</i>	Pelagic Piscivore
<i>Xiphias gladius</i>	Pelagic Piscivore
<i>Alosa alosa</i>	Planktivore
<i>Alosa fallax</i>	Planktivore
<i>Alosa spp</i>	Planktivore
<i>Argentina silus</i>	Planktivore
<i>Argentina sphyraena</i>	Planktivore
<i>Argentina spp</i>	Planktivore
<i>Clupea harengus</i>	Planktivore
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Planktivore
<i>Illex coindetii</i>	Planktivore
<i>Illex illecebrosus</i>	Planktivore
<i>Illex spp</i>	Planktivore
<i>Mallotus villosus</i>	Planktivore
<i>Micromesistius poutassou</i>	Planktivore
<i>Osmerus eperlanus</i>	Planktivore
<i>Perciformes</i>	Planktivore
<i>Sardina pilchardus</i>	Planktivore
<i>Sardinella spp</i>	Planktivore
<i>Scomber scombrus</i>	Planktivore
<i>Scomber spp</i>	Planktivore
<i>Scomberesox saurus</i>	Planktivore
<i>Scomberidae</i>	Planktivore

Continued on next page

Table S1 – continued from previous page

Species	Functional Group
<i>Scombroidei</i>	Planktivore
<i>Sprattus sprattus</i>	Planktivore
<i>Trachurus mediterraneus</i>	Planktivore
<i>Trachurus spp</i>	Planktivore
<i>Trachurus trachurus</i>	Planktivore
<i>Trisopterus esmarkii</i>	Planktivore

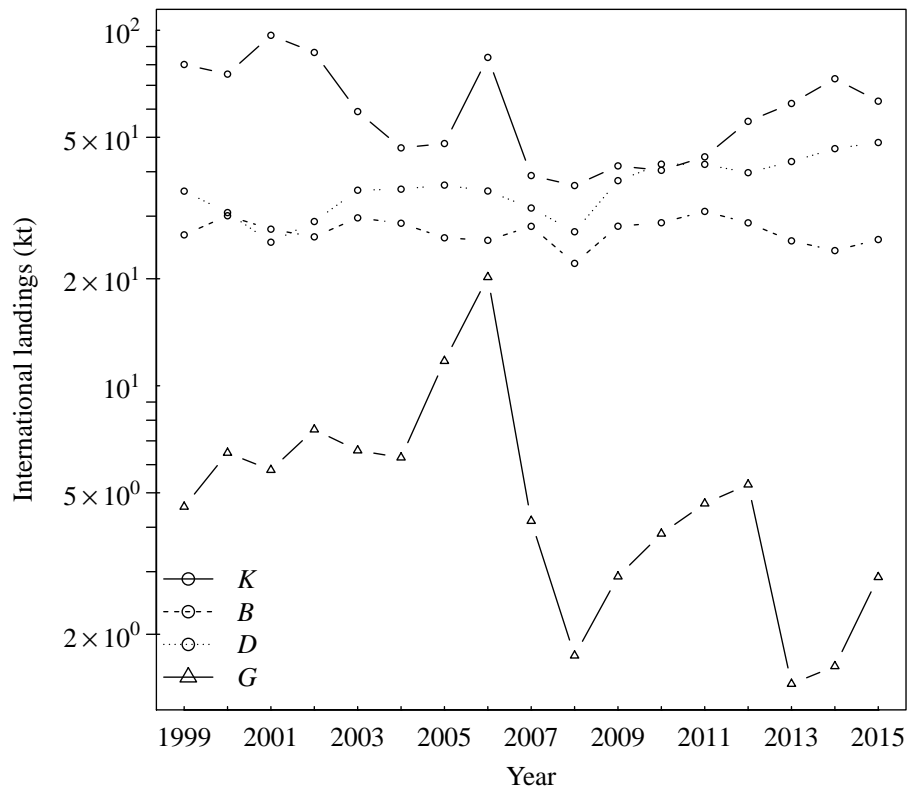


Figure S1: The international landings for ICES division 8a and 8b by functional group.

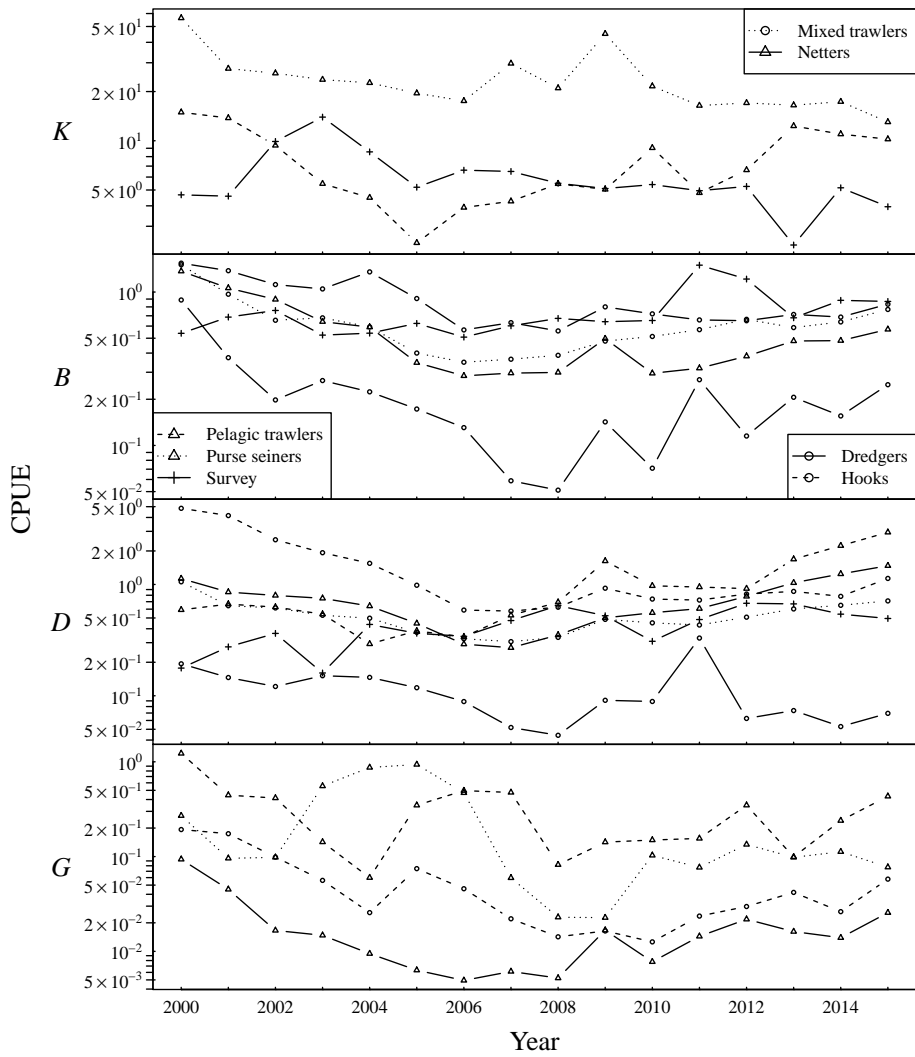


Figure S2: Time series of catch per unit effort (metric tonnes per day of fishing) for each of the French fisheries by functional group (see legend above) and the survey mean (metric tonnes per km<sup>2</sup>).

## Model Results

Table S2: Posterior quantiles of estimated log catchability ( $\log q_{ik}$ ) for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores.

Gear	FG	2.5%	50%	97.5%
Dredgers	$B$	-6.17	-5.84	-5.53
Dredgers	$D$	-7.11	-6.75	-6.42
Hooks	$D$	-4.64	-4.29	-3.98
Hooks	$G$	-6.47	-5.95	-5.52
Mixed trawlers	$B$	-4.84	-4.62	-4.43
Mixed trawlers	$D$	-5.40	-5.11	-4.90
Netters	$B$	-5.11	-4.81	-4.53
Netters	$D$	-5.20	-4.86	-4.56
Netters	$G$	-7.51	-7.01	-6.58
Pelagic trawlers	$K$	-3.40	-2.92	-2.49
Pelagic trawlers	$D$	-5.05	-4.66	-4.30
Pelagic trawlers	$G$	-4.70	-4.16	-3.69
Potters	$B$	-4.52	-4.26	-4.04
Purse seiners	$K$	-2.25	-1.73	-1.23
Purse seiners	$G$	-5.33	-4.73	-4.22
Survey	$K$	-3.57	-3.11	-2.69
Survey	$B$	-4.78	-4.43	-4.11
Survey	$D$	-5.73	-5.35	-5.00



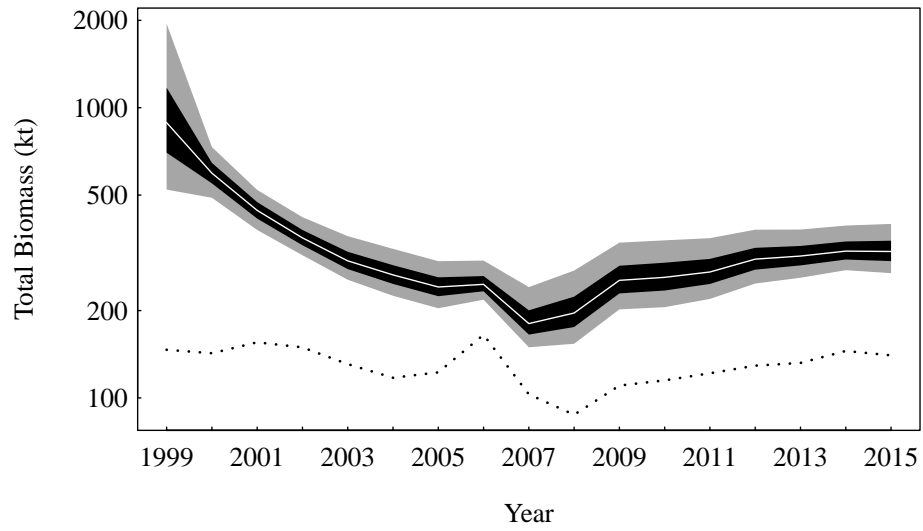


Figure S3: Latent state estimates for total biomass. The dotted line is the total annual harvest for each functional group. Posterior medians given by white lines, 50% central credible intervals by black polygons and 90% central CIs by grey polygons. Note logarithmic y-axes.

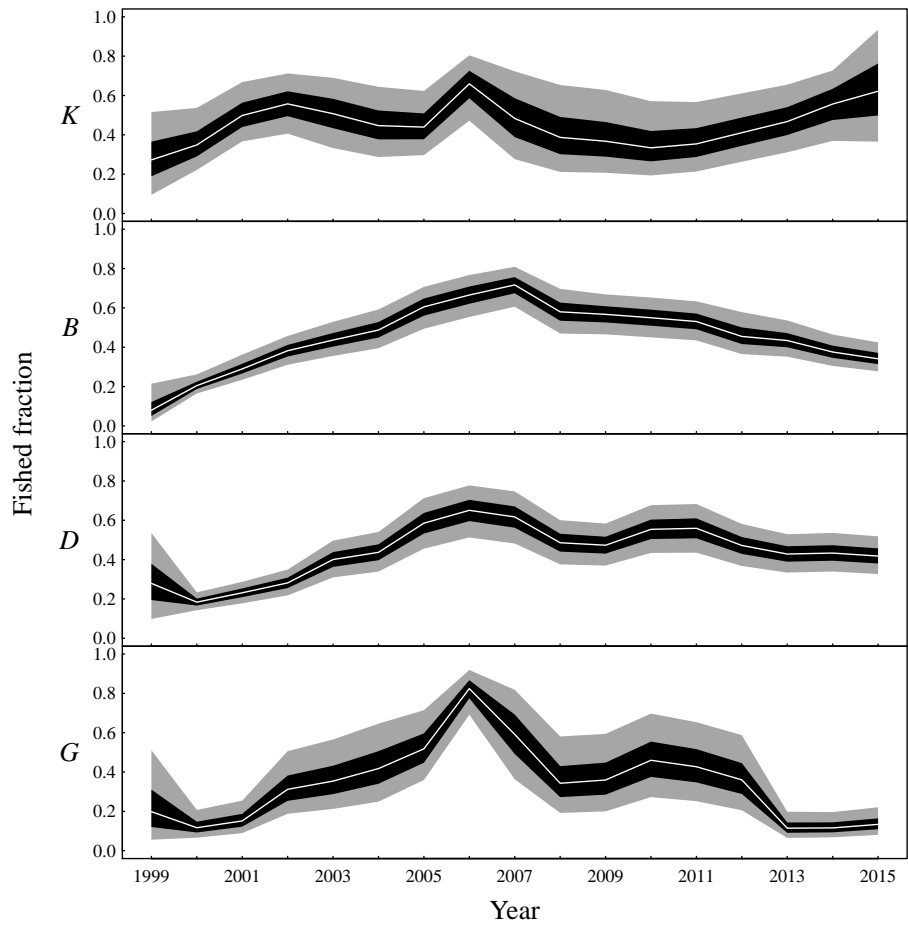


Figure S4: Estimated annual fished fraction ( $F_i(t)$ ) of fishable biomass for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores. Posterior medians given by white lines, 50% central credible intervals by black polygons and 90% central CIs by grey polygons.

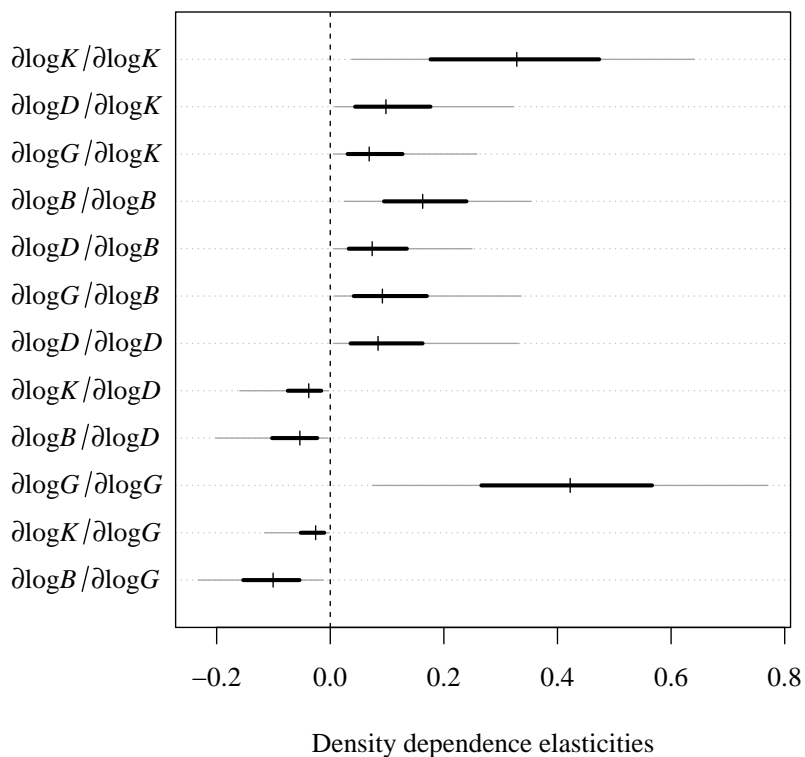


Figure S5: The elasticities of the one year look-ahead predictions to changes in the previous year's biomass for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores. Posterior medians given by hashes, 50% central CIs by black segments and 90% central CIs by grey segments.

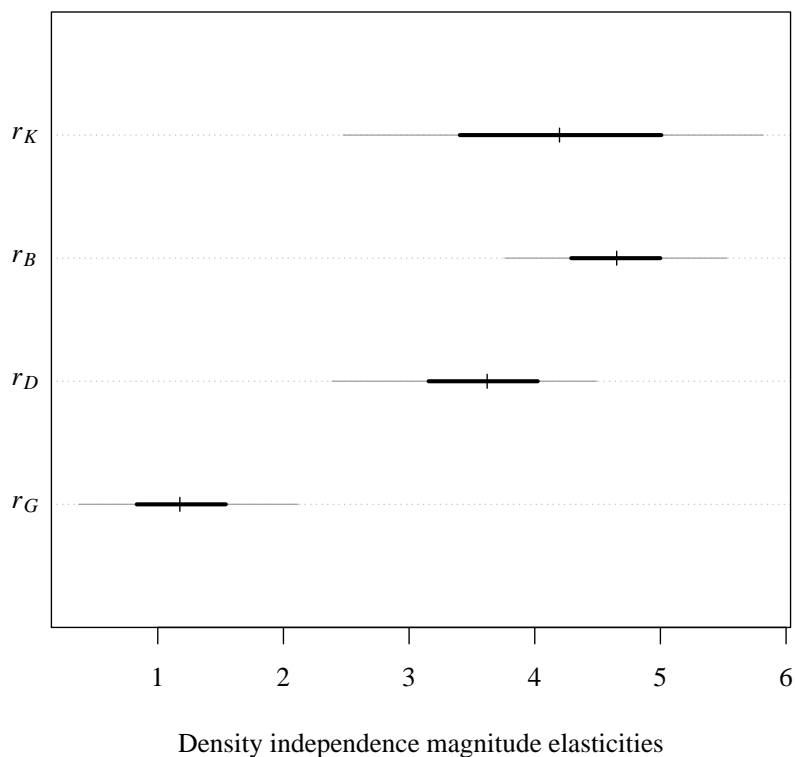


Figure S6: Elasticities of the one year look-ahead predictions of each functional group to changes in the magnitude of its density independent growth parameter,  $|r_i|$ , for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores. Posterior medians given by hashes, 50% central CIs by black segments and 90% central CIs by grey segments.

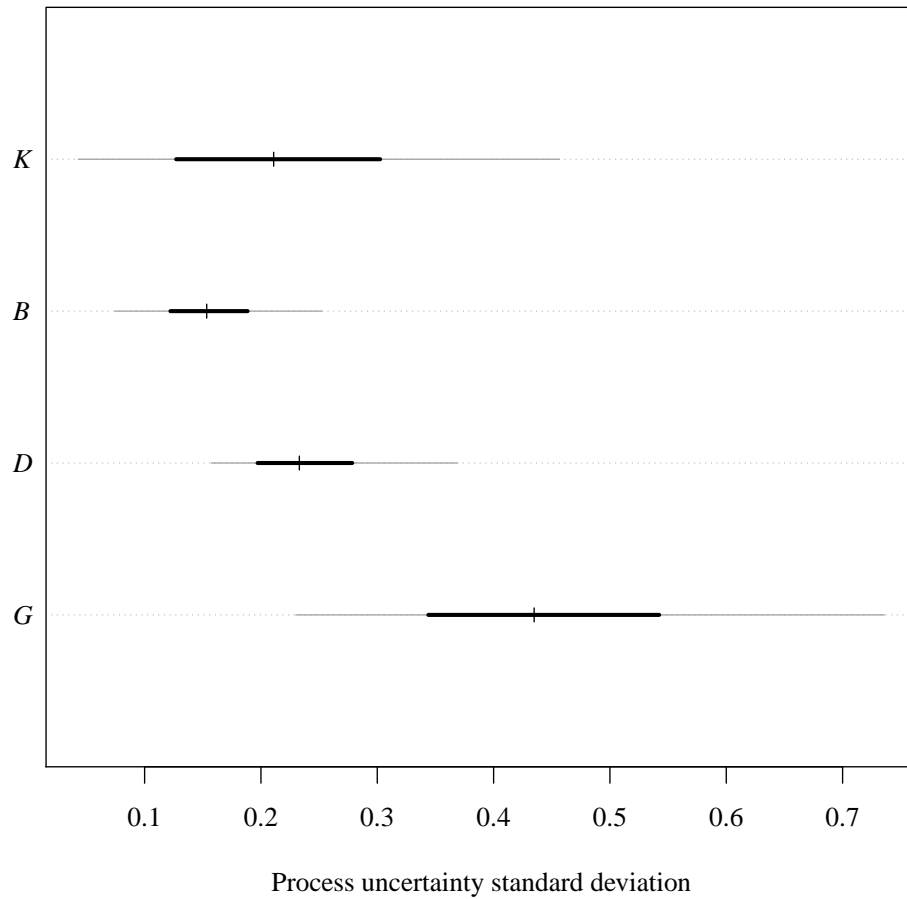


Figure S7: Magnitude of process uncertainty (standard deviation of process error) for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores. Posterior medians given by hashes, 50% central CIs by black segments and 90% central CIs by grey segments.

Table S3: Posterior interquartile distance for the elasticities of the long term stationary distribution means or quantiles with respect to the unfished fractions. The table entries correspond to the entries of the elasticity matrix  $-A^{-1}$ .

	$K$	$B$	$D$	$G$
$K$	0.67	0.02	0.10	0.12
$B$	0.05	0.20	0.11	0.24
$D$	0.23	0.13	0.15	0.04
$G$	0.28	0.26	0.03	0.91

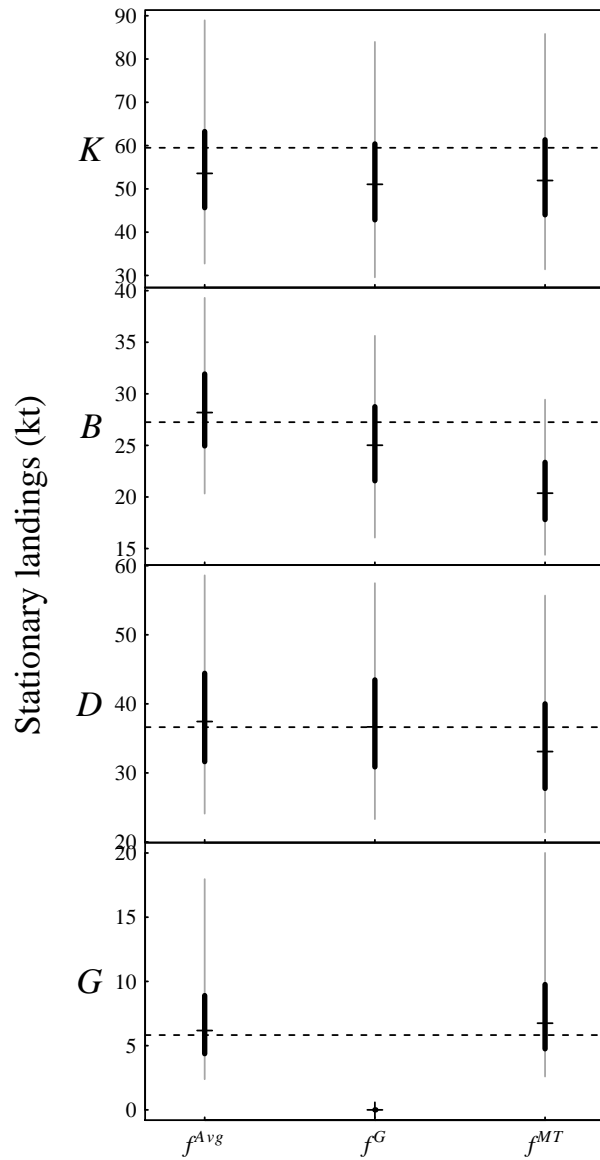


Figure S8: Plotted are the posterior stationary distribution of annual landings under the three management scenarios with non-zero fishing mortalities for  $K$ : planktivores,  $B$ : benthivores,  $D$ : demersal piscivores, and  $G$ : pelagic piscivores. Posterior medians given by hashes, 50% central CIs by black segments and 90% central CIs by grey segments. The average landings for years 2000-2015 are shown by horizontal dashed lines. No landings occur for the scenario with no fishing ( $f_0$ ).