INIDEP

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PESQUERO

INFORME DE ASESORAMIENTO Y TRANSFERENCIA

Número	Páginas	Fecha de aprobación
0 5 4	01 13	18 JUN 2015

Dirección
DIRECCIÓN DE PESQUERIAS PELAGICAS Y MEDIO AMBIENTE

Programa / Gabinete
Pesquerías de Peces Pelágicos

Actividad

UNA APLICACIÓN EN ENTORNO R PARA EVALUAR LOS RIESGOS DE SOBRE-EXPLOTACIÓN

Las recomendaciones que surgen del INIDEP sobre capturas máximas anuales de peces habitualmente están precedidas de estudios acerca de los riesgos asociados de sobrepesca. Muchos investigadores de la institución utilizan la aplicación "Visual Basic" asociada a una hoja de cálculo *Excel* para modelar cada escenario de proyección. El objetivo del informe es presentar un código de instrucciones para efectuar este tipo de análisis de riesgo en una plataforma de entorno R. Este procedimiento permite obtener los resultados deseados mucho más velozmente que utilizando *Excel*. El código fue inicialmente escrito para analizar los riesgos asociados a la explotación del *stock* norteño de anchoíta, pero se considera que es fácilmente adaptable a otros recursos.

Citar Indicando la fuente. El contenido no debe ser reproducido total o parcialmente sin la expresa conformidad del INIDEP

SOLICITADO POR — Institución: — Cargo:

PREPARADO POR

Firma:

Nombre: ORLANDO, PAULA

APROBADO POR

Jefe de Programa / Gabinete

Dr. MARCELO PAJARO
A/C DIRECCIÓN
Dpto. Pelágicos y Medio Ambiente

Director de área

Dr. OTTO C. WÖHLER
DIRECTOR
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PESQUERO
INIDEP

Director Nacional de Investigación

Director del INIDEP

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

UNA APLICACIÓN EN ENTORNO R PARA EVALUAR LOS RIESGOS DE SOBRE-EXPLOTACIÓN

por: Paula Orlando

Programa de Pesquerías de Peces Pelágicos

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Introducción

Las recomendaciones que surgen del INIDEP sobre capturas máximas anuales de peces habitualmente están precedidas de estudios acerca de los riesgos asociados de sobrepesca. En estos análisis proyectivos se simulan, durante una serie futura de años, la evolución teórica de las poblaciones y las capturas que se obtendrían de las mismas en caso de someterlas a diferentes intensidades de pesca. En los análisis se incorpora la incertidumbre inherente a distintos aspectos relevantes al potencial pesquero de los recursos, tales como la estimación de su tamaño poblacional actual y de los reclutamientos anuales que pueden esperarse en adelante. Otras fuentes de variabilidad pueden ser igualmente consideradas, como por ejemplo aquellas que se relacionan con la estimación de la tasa de mortalidad natural, o bien con los patrones edad – específicos de explotación o madurez, o con los pesos medios por edad. En pesquerías estacionales, un parámetro a incluir se vincula con el momento del año en que puede definirse el pulso de explotación, también sujeto a cierta variación entre distintas temporadas. El valor de determinadas variables ambientales pudiera ser pertinente en algunos casos.

Es común que estos análisis impliquen simulaciones que se desarrollan sobre distintos escenarios; por caso, considerando un reclutamiento medio general a lo largo del período de proyección, o bien valores teóricos anuales derivados de una relación *stock* – recluta. En otras ocasiones, por ejemplo, los escenarios se definen en función de vincular la definición de “riesgo” con distintas magnitudes, o plazos de determinación (inmediato, corto, largo) respecto de la biomasa de reproductores. En ciertas oportunidades, son los porcentuales de “casos desfavorables” observados en las simulaciones (usualmente, 10% y 30% de las mismas) los que definen el “riesgo” y diferencian los escenarios del análisis.

En la práctica, no existe una única forma de evaluar el riesgo biológico (Wöhler *et al*., 1996; Aubone, 1997; Aubone y Rodriguez, 2012). Muchos investigadores de nuestra institución modelan sobre hojas de cálculo *Excel* cada escenario de proyección, incluyendo el ingreso de las estimaciones de los parámetros, su variabilidad, y estableciendo cuáles son las funciones de densidad de probabilidad apropiadas. Las simulaciones se llevan a cabo típicamente mediante técnicas de Monte Carlo, generándose valores aleatorios de los diferentes parámetros involucrados, en cada reiteración de las que se escogen efectuar en función de cada intensidad de pesca (tasa de mortalidad *F*) sometida a prueba. El proceso requiere ejecutar una “macro”, o más recientemente una aplicación “Visual Basic”, escrita *ad-hoc* y asociada a la hoja de

cálculo. Desde luego, tanto las hojas como los códigos han experimentado una cantidad de modificaciones desde sus primeros usos en el INIDEP.

Quizá la principal desventaja de utilizar hojas de cálculo *Excel* es que, aun con los potentes procesadores de los ordenadores modernos, el procedimiento resulta relativamente lento. Obtener los resultados puede demorar horas, sobre todo si los parámetros sujetos a generación aleatoria son muchos, porque esto obliga a efectuar una gran cantidad de simulaciones por cada valor de la tasa *F* con el objeto de representar adecuadamente las posibles combinaciones de valores de los distintos parámetros.

Otra demora potencial, y de mayor magnitud, del procedimiento en hoja de cálculo se relaciona con la definición del punto de partida del análisis. Con frecuencia, se comienza desde la situación de abundancia (en términos de biomasa o de número de ejemplares por edad) a inicios del último año con pesca. Esto obliga a que el programa efectúe, en cada realización, una corrida de la rutina de minimización *Solver*, que puede requerir un tiempo de procesamiento prolongado. Porque sean cuáles fueran los valores generados en cada simulación, en función de las medias y desviaciones respectivas, se debe determinar el valor de la tasa *F* que rendiría la captura anual observada, puesto que este es un dato "conocido", y luego calcularse los sobrevivientes resultantes. Este paso puede ser irrelevante en estudios en los que importen fundamentalmente los valores medios que se alcanzarían en el largo plazo, pero es fundamental si se consideran las proyecciones inmediatas o de corto plazo.

El propósito del informe es presentar un código de instrucciones para efectuar este tipo de análisis de riesgo en una plataforma de entorno R (www.r-project.org). El punto de partida no es el inicio del último año con pesca, sino la abundancia proyectada al comienzo del primer año posterior a aquel, lo que elimina en todos los casos la necesidad de emular la minimización realizada por *Solver*. El procedimiento permite obtener los resultados deseados mucho más velozmente que utilizando *Excel*, y en consecuencia facilita aumentar el número de simulaciones y ensayar distintos escenarios. El código fue inicialmente escrito para analizar los riesgos asociados a la explotación de anchoíta bonaerense, pero se considera que es fácilmente adaptable a otros recursos.

Datos poblacionales

Los datos de interés acerca del *stock* bonaerense de anchoíta que fueron utilizados en las proyecciones y en el análisis de riesgo se observan en la Tabla 1. La tasa de mortalidad (*M*) fue igual a 1,01, constante para las distintas edades y años.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Tabla 1. Abundancia (números por edad, en millones) y desvíos estándar de las estimaciones obtenidas en el diagnóstico poblacional (año 2015). Además, vectores de pesos medios en octubre (gr), proporciones de maduros y factores de explotación por edad.

$Edad_{(i)}$	$Nmedio_{(i,j=2015)}$	$Sigma_{(i,j=2015)}$	$Pesos\ oct._{(i)}$	$Prop.\ maduros_{(i)}$	$F.\ exp\ lot._{(i)}$
1	258.450	0,395	9,78	0,52	0,0058
2	92.087	0,171	19,3	1,00	0,229
3	16.216	0,65	27,84	1,00	0,938
4	8.895	0,4	34,43	1,00	0,999
5	3.009	0,36	39,28	1,00	1,000
6+	872	0,32	42,62	1,00	0,226

Modelo de las proyecciones

Las instrucciones necesarias para modelar este análisis (Anexo I) se codificaron sobre una plataforma de entorno R versión i 386 3.2.0.

Replicando el modelo de diagnóstico de anchoíta bonaerense (Hansen *et al*., 2012 a 2015) la población se estructura en seis grupos de edad. El primero (i = 1) integrado por los reclutas que se incorporan al *stock* cada 1º de enero y el último, un "grupo plus", que incluye ejemplares de seis y más años de edad (i = 6+).

La explotación de este recurso es fuertemente estacional, y está definida por un parámetro ("*Gamma*") que deriva del valor de la mortalidad natural y la fracción del año en que puede definirse un pulso de extracción (Mertz y Myers, 1996). Por ejemplo, el valor de *Gamma* en el año 2014, considerado constante para toda edad, fue 0,8412, resultado de máximos de captura alcanzados en el último cuatrimestre. En efecto, la magnitud del parámetro guarda relación con la proporción de la captura que se logra en cada tercio del año, y esta última a su vez determina, junto con la mortalidad natural, la cantidad de sobrevivientes esperada en distintos momentos del año y a inicios del siguiente. Desde luego, estas consideraciones no son necesarias en pesquerías cuyas capturas son estimadas con la conocida ecuación de Baranov.

El efecto teórico de distintas intensidades de explotación futura se investiga, en nuestro caso, realizando un número determinado de simulaciones (n = 1, 2,….., 1.500), para 20 magnitudes crecientes (f = 1, 2,…, 20) de mortalidad por pesca (F_f = 0,00; 0,01;…; 5). Entre estas se incluyen la F_0 (ausencia de pesca), una F_{objetivo} (que en anchoíta corresponde a F_{66}, esto es, la tasa que en el largo plazo permitiría la supervivencia del 66% de la biomasa de reproductores por recluta producida bajo F_0) y una $F_{\text{límite}}$ (la F_{40}, definida de manera análoga). Estos valores particulares de F se determinan mediante un

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

análisis previo de rendimiento por recluta. Luego, en cada simulación se calcula la evolución del *stock* aplicando cada valor de *F* durante un período de proyección de 16 años (*j* = 2015 a 2030). Finalmente, los resultados de las 1.500 simulaciones en cada año de proyección se promedian, con el fin de obtener un valor medio anual por cantidad de interés.

En la pesquería de anchoíta se definen dos tipos de "riesgo de sobre-explotación": (1) que en el primer año proyectado, la biomasa absoluta de reproductores de edades 2 y mayores, ($Biorep_{2+,2015}$) se sitúe por debajo del nivel límite, *BRL*[1]; y (2) que las capturas a largo plazo correspondientes a cada tasa de mortalidad por pesca resulten integradas por más de 20% de peces juveniles.

En este análisis de riesgo, efectuado mediante una técnica de Monte Carlo, se incorpora incertidumbre acerca las siguientes estimaciones efectuadas en la etapa diagnóstica: (A) la abundancia numérica de los grupos de edad 2 a 6+ en el primer año de proyección; (B) los reclutamientos en los distintos años de proyección; y (C) el valor anual del factor de estacionalidad. De modo que en cada *n* – ésima simulación se procede (para simplicidad, se omite el subíndice "*n*" en las expresiones) de la siguiente forma:

A. La abundancia numérica de los grupos de edad 2 a 6+ en el primer año de proyección $(Nest_{(i,j=2015)})$ se obtiene suponiendo su distribución log-normal, con media $Nmedio_{(i)} =$ media de los logaritmos de los $N_{(i)}$ estimados en el diagnóstico (ecuación 1). Dicho valor medio surge, como se indica en la ecuación 2, de restarle la mitad de la varianza de los logaritmos de $N_{(i)}$ al logaritmo de los $N_{(i)}$, que es el valor estimado en el diagnóstico[2].

$$Nest_{(i,j=2015)} = q\ln orm(runif(1), mean = Nmedio_{(i)}, sd = Sigma_{(i)}) \qquad 2 \le i < 6+ \qquad (1)$$

<u>Equivalente en *Excel* a:</u>

$$Nest_{(i,j=2015)} = distr.log.inv(aleatorio(); Nmedio_{(i)}; Sigma_{(i)})$$

$$Nmedio_{(i)} = log(N_{(i)}) - (Sigma_{(i)})\text{^}2/2 \qquad i = 1, 2, \ldots, 6+ \qquad (2)$$

[1] *BRL*: la biomasa reproductiva por recluta superviviente a la tasa F_{40}, multiplicada por el promedio actual de reclutamientos estimados en cinco de los años más recientes por el modelo de diagnóstico.

[2] La desviación estándar de los logaritmos proviene de aplicar la expresión de Sampson y Yin (1998) para aproximar sigma en escala logarítmica a partir del CV en escala aritmética: $sigma_t$ = raíz[ln(1+CV_t^2)]

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

B. El reclutamiento en cada año de proyección $(Nest_{(i=1,j)})$ se genera a partir de una distribución log-normal (ecuación 3). En anchoíta, los parámetros de esta distribución son la media "*Muno*", que es el promedio de los logaritmos de los números estimados de reclutas en los últimos 5 años con pesca, excepto el último ("*Muno*" = 11,7349); y la desviación "*Sigmano*", que es la desviación estándar de esos mismos valores logarítmicos ("*Sigmano*" = 0,3953).

$$Nest_{(i=1,j)} = qlnorm(runif(1), mean =, Muno, sd = Sigmano) \quad (3)$$

<u>Equivalente en *Excel* a:</u>

$$Nest_{(i,j=2015)} = distr.log.inv(aleatorio(); Muno; Sigmano)$$

C. Los valores anuales del factor de estacionalidad *Gamma* (γ_j), se obtienen suponiendo su distribución normal con los parámetros estimados en el diagnóstico: media ("*Mediagamma*" = 0,8049) y desvío ("*Sigmagamma*" = 0,0280).

$$Gamma_{(j)} = qnorm(runif(1), mean = Mediagamma, sd = Sigmagamma) \quad (4)$$

<u>Equivalente en *Excel* a:</u>

$$Gamma_{(j)} = distr.norm.inv(aleatorio(); Mediagamma; Sigmagamma)$$

Como se ha indicado antes, la fracción de la captura anual que se obtuvo en cada cuatrimestre ($Prop_{(x,j)}$ *x=1, 2, 3*) se deriva del valor generado del parámetro (γ_j) y se expresa en el código R en un formato condicional (ecuación 5):

$$\left.\begin{array}{l} if\ (Gama_{(j)} > 0{,}84)\{Prop_{(3,j)} = 1\}\ else\{Prop_{(3,j)} = (-2{,}51 + 4{,}157 * Gama_{(j)})\} \\ if\ (Gama_{(j)} > 0{,}84)\{Prop_{(2,j)} = 0\}\ else\{Prop_{(2,j)} = (3{,}53 - 4{,}181 * Gama_{(j)})\} \\ if\ (Prop_{(2,j)} + Prop_{(3,j)} = 1)\{Prop_{(1,j)} = (1 - (Prop_{(2,j)} + Prop_{(3,j)})\}else\{Prop_{(1,j)} = 0\} \end{array}\right\} \quad (5)$$

Los sobrevivientes que integran los grupos de edad 2 a 6+ al 1º de enero, desde el segundo año de proyección en adelante (*j* = 2016, …, 2030) se calculan efectuando:

$$Nest_{(i,j)} = (Nest_{(i-1,j-1)} - Cap_{(i-1,j-1)} * Gama_{(j-1)} * exp(M)) * exp(-M) \qquad i = 2, \ldots, 6+ \quad (6)$$

$$Nest_{(i=6+,j)} = Nest_{(i,j)} + (Nest_{(i,j-1)} - Cap_{(i,j-1)} * Gama_{(j-1)} * exp(M)) * exp(-M) \quad i = 6+ \quad (6´)$$

De acuerdo con Mertz y Myers (1996), los valores teóricos de capturas anuales por edad, en millones de individuos, serían:

$$Cap_{(i,j)} = Nest_{(i,j)} * (exp(-M) - exp(-M - F * fexp_{(i)})) / Gama_{(j)} \quad (7)$$

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Para calcular la biomasa de reproductores, dado que el pico de actividad sexual del efectivo norteño de anchoíta ocurre en octubre, es necesario estimar el número de ejemplares de cada edad sobrevivientes por año a mediados de ese mes $(Noct_{(i,j)})$. Los mismos se predicen (ecuación 8), tal como en el diagnóstico poblacional, con un procedimiento análogo al de Pope (1972):

$$Noct_{(i,j)} = (Nest_{(i,j)} * exp(-2/12 * M) - Cap_{(i,j)} * Prop_{(1,j)} * exp(-4/12 * M) - Capt_{(i,j)} * Prop_{(2,j)}) * exp(-3{,}5/12 * M) - Capt_{(i,j)} * Prop_{(3,j)} / 2 \quad (8)$$

A partir de los números (en millones de ejemplares) obtenidos mediante la ecuación 8, se calcula la biomasa reproductiva por año $(Biorep_{2+,j})$ empleando la sentencia condicional que muestra la ecuación 9:

$$if\,(i > 1)\{ Biorep_{2+,j} = Biorep_{2+,j} + Noct_{(i,j)} * Pesos\ octubre_{(i)} * Prop\ maduros_{(i)} \} \quad (9)$$

Otras cantidades de interés son:

- Captura anual en número de ejemplares: $Captot_j = Captot_j + Cap_{(i,j)}$ (10)
- Rendimiento anual: $Rend_j = Rend_j + (Cap_{(i,j)} * Pesosoctubre_{(i)})$ (11)
- Proporción de juveniles en las capturas:

  $$if\ (Captot_j > 0)\{ Pjuv_{(j)} = Cap_{(1,j)} * (1 - Prop\ maduros_{(1)}) / Captot_j \}\ else\{ Pjuv_{(j)} = 0 \} \quad (12)$$

- Riesgo $(Riesgo1)$ de que la biomasa reproductiva $(Biorep_{(2+,j)})$ sea menor que la biomasa límite $(Biorep_{(límite)})$:

  $$if\ (Biorep_{(2+,j)} > Biorep_{(límite)})\{ Riesgo1_{(j)} = 0 \}else\{ Riesgo1_{(j)} = 1 \} \quad (13)$$

- Riesgo $(Riesgo2)$ de que la proporción de los juveniles en las capturas $(Pjuv_{(j)})$ sea mayor al 20 %:

  $$if\ (Pjuv_{(j)} > 0{,}2)\{ Riesgo2_{(j)} = 1 \}else\{ Riesgo2_{(j)} = 0 \} \quad (14)$$

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Finalizadas las 1.500 simulaciones para los 16 años de proyección, los promedios anuales se vuelcan a una matriz denominada “Resultados” (Figura 1).

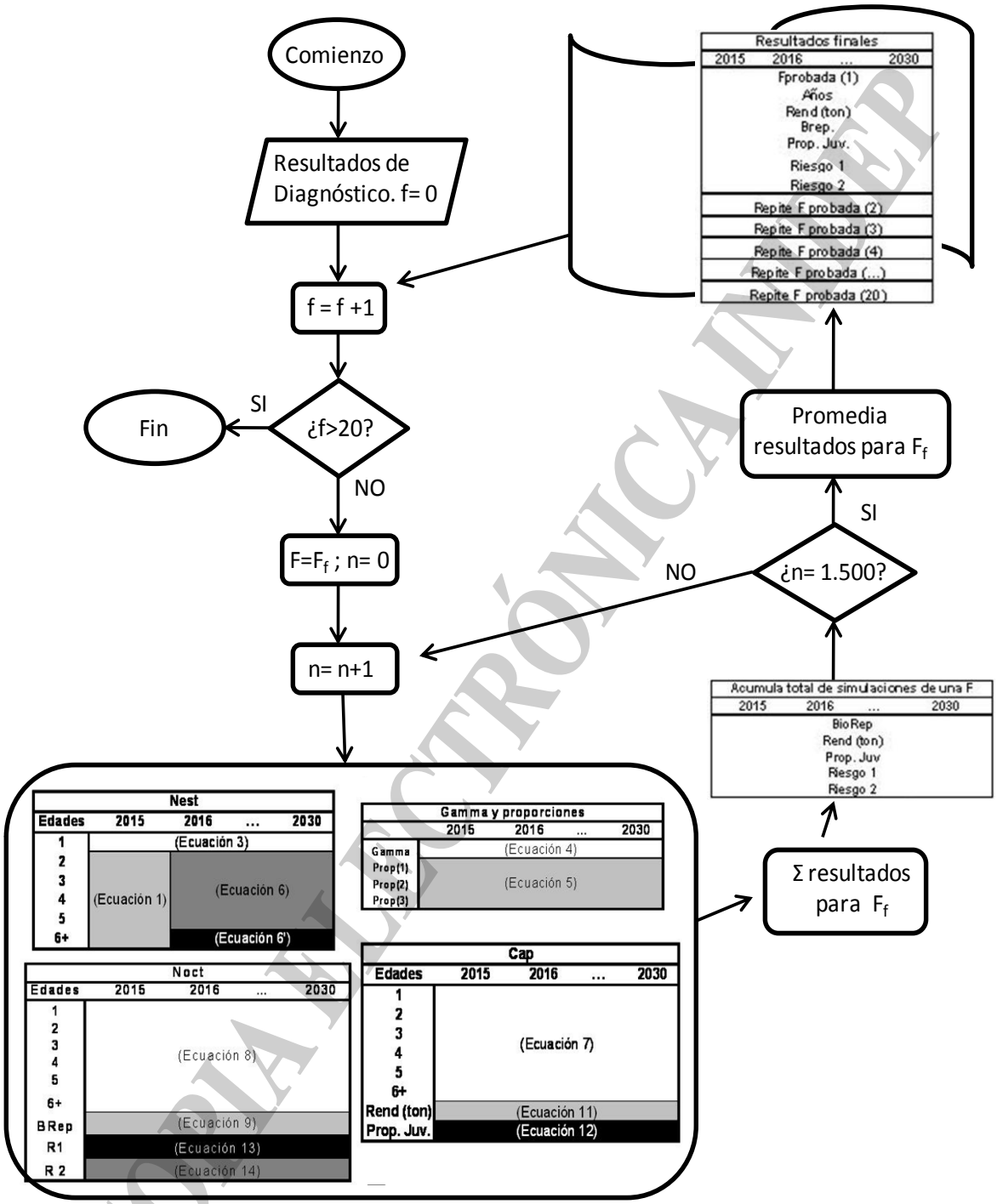

Figura 1. Diagrama de flujo y matrices generadas para efectuar análisis de riesgos sobre una plataforma de entorno R.

COPIA ELECTRÓNICA INTEP

Resultados y discusión

Con la aplicación del código R para evaluar los riesgos de sobre-explotación se alcanzaron resultados prácticamente idénticos a los obtenidos al efectuar la misma cantidad de simulaciones con la aplicación desarrollada en *Excel*. Las únicas diferencias observadas pueden suponerse debidas al azar, puesto que ninguna serie de predicciones tendió a ser consistentemente menor o mayor que la otra. A modo de ejemplo, la Figura 2 muestra la salida de uno y otro análisis, en relación con una de las cantidades de interés; en este caso, las proyecciones de la biomasa de reproductores de 2 y más años de edad $(Biorep_{(2+)})$ que correspondieron a tres de las tasas de mortalidad por pesca sometidas a prueba: F_0, $F_{Objetivo}$ y $F_{Límite}$.

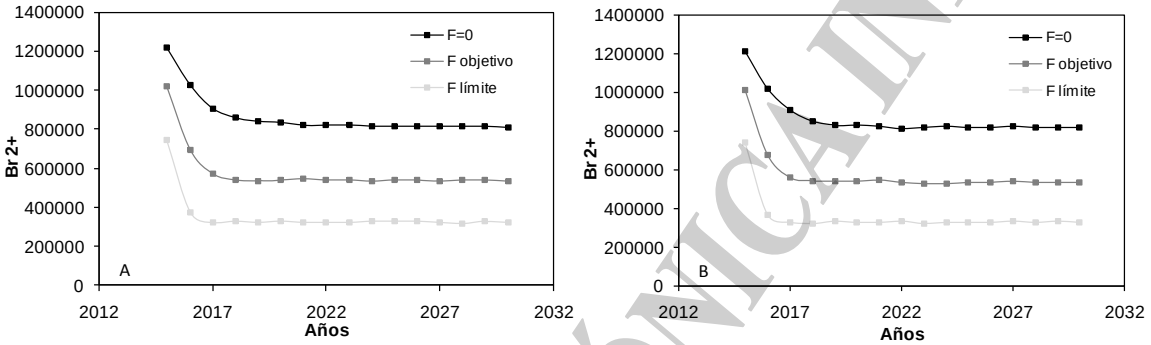

Figura 2. Evolución simulada de la biomasa anual de reproductores $(Biorep_{(2+)})$ en función de distintas tasas de mortalidad pesquera: F=0, Fobjetivo y Flímite. A- Excel; B- entorno R.

Se confirmó que la aplicación en entorno R produjo los resultados velozmente: en este caso, en unos 4 minutos, mientras que el proceso equivalente en *Visual Basic* de *Excel* demoró 95 minutos, y aun mucho más (12 horas y media) cuando la incertidumbre incorporada acerca de las estimaciones de abundancia de los grupos de edad 2 a 6+ se refirió al último año con pesca, en vez de considerar el primer año de proyección. Como se mencionó en la Introducción, la rapidez del proceso en R facilita tanto aumentar el número de simulaciones como ensayar el análisis sobre distintos escenarios. La cantidad de simulaciones es muy importante, sobre todo si los parámetros acerca de los cuales existe incertidumbre son muchos, o si algunos de los mismos se encuentran correlacionados, porque la magnitud del re-muestreo tiene que ser capaz de retener toda esa variabilidad. Además, es conocida la gran capacidad gráfica en este entorno de trabajo. Por dichos motivos, entendemos que se justifica poner el código, que en esta oportunidad hemos utilizado para analizar los riesgos de sobre-explotación de anchoíta bonaerense, a disposición de otros usuarios actuales de *Excel* que deseen implementarlo en sus investigaciones, adaptándolo previamente en función del recurso en cuestión.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

Bibliografía

Aubone, A. 1997. Evaluación de riesgo en el Análisis de Poblaciones Virtuales y Puntos Biológicos de Referencia Precautorios para el manejo de la pesquería de merluza (*Merluccius hubbsi*) al norte de los 41ºS. Evaluación 1997. Inf. Int. INIDEP 108/97.

Aubone, A. & J. Rodriguez 2012. Enfoque bayesiano, resultados y análisis de riesgo biológico para un modelo estructurado por edades. Inf. Investigac. INIDEP 013/12, 13 pp. (No Publicado). Consulta Resumen y solicitud texto online: http://www.inidep.edu.ar/publicaciones/catalogo/informes-de-campana-2012-2/

Hansen, J.E.; A.D. Garciarena & C.C. Buratti. 2012. Dinámica de la población de anchoíta bonaerense entre los años 1990 y 2011, de acuerdo con un modelo estadístico de capturas por edad. Inf. Téc. Of. Nº 14, 28 pp. (No Publicado). Consulta Resumen y solicitud texto online: http://www.inidep.edu.ar/publicaciones/catalogo/informes-tecnicos-2012/

Hansen, J.E.; A.D. Garciarena & C.C. Buratti. 2013. Modelo estadístico de capturas por edad ajustado a datos sobre anchoíta bonaerense entre 1990 y 2012. Inf. Téc. Of. Nº 15, 29 pp. (No Publicado). Consulta Resumen y solicitud texto online: http://www.inidep.edu.ar/publicaciones/catalogo/informes-tecnicos-2013/

Hansen, J.E.; A.D. Garciarena; C.C. Buratti & P. Orlando. 2014. Dinámica poblacional de la anchoíta bonaerense entre 1990 y 2013. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2014. Inf. Téc. Of. INIDEP 6/14, 32 pp. (No Publicado). Consulta Resumen y solicitud texto online: http://www.inidep.edu.ar/publicaciones/catalogo/informes-tecnicos-2014/

Hansen, J.E.; A.D. Garciarena; C.C. Buratti & P. Orlando. 2015. Dinámica de la población y pesca comercial de anchoíta bonaerense entre 1990 y 2014. Recomendaciones de capturas máximas en el año 2015. Inf. Téc. Of. INIDEP 07/15, 33 pp.

Mertz, G. & R.A. Myers. 1996. An extended cohort analysis: incorporating the effect of seasonal catches. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 159-163.

Pope, J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. 9: 65–74.

Sampson, D.D. & Y. Yin. 1998. A Monte Carlo Evaluation of the Stock Synthesis Assessment Program. Fishery Stock Assessment Models, Alaska Sea Grant College Program, AK-SG-98-01: 315-338.

Wöhler, O.C.; L.B. Prenski; J.E. Hansen & M.C. Cassia. 1996. Evaluación del estado de explotación de la polaca (*Micromesistius australis*) en el Atlántico Sudoccidental. Inf. Int. INIDEP 37/96, 25 pp.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

ANEXO I. Código R para evaluar los riesgos de sobre-explotación de anchoíta bonaerense

Datos poblacionales

```
años<-seq(2015,2030,1)
edad<-seq(1,6,1)
Prop mad<-c(0.52, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00)
Pesos octubre<-c(9.775,19.299,27.839,34.476,39.277,42.621)
Fexp<-c(0.0058, 0.2290, 0.9384, 0.9987, 1.00, 0.2263)
M<-(1.01)
F <-c(0.00,  0.01, 0.05, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.60, 0.88, 1.10, 1.35,
1.50, 2.00, 3.00, 3.87, 5.00)
```

(En negrita F_0; $F_{objetivo}$ y $F_{límite}$)

```
f<-seq(1,length(F),1)
N<-c(258450,92087,16216,8895,3009,872)
Sigma<-c(0.3953,0.171,0.650,0.404,0.36,0.315)
Muno<-(11.7349)
Sigmano<-(0.3953)
Mediagamma<-(0.8049)
Sigmagamma<-(0.0280)
tot_sims<-1500
Brlímite<-(321000)
```

Sentencias

```
for (i in 1:length(edad)) {
Nmedio [i]<-log(N [i])-(Sigma [i])^2/2}

  for (F in 1:length(F)) {
  acum <-matrix(data = 0, nrow = 5, ncol=16)
  fprob <- F[F]

   for(n in 1:tot_sims) {
   for (i in 2:length(edad)) {
   Nest [i,1] <-qlnorm (runif(1),mean=Nmedio [i], sd=Sigma [i])}

    for (j in 1:length(anios)){
    Nest [1,j] <-qlnorm (runif(1),mean=Muno, sd=Sigmano)
    Gama [1,j] <-qnorm (runif(1), mean=Mediagamma, sd=Sigmagamma)
      if (Gama [,j]>0.84) {Prop [3,j] <-1} else {Prop [3,j] <- (-2,51 + 4,157 * Gama [j])}
      if (Gama [,j]>0.84) {Prop [2,j] <-0} else {Prop [2,j] <- (3,53 - 4,181 * Gama [,j])}
```

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

```
    if (Prop [2, j]+Prop [3,j]<1) { Prop [1,j] <- (1-(Prop [2,j] + Prop [3,j])) } else {Prop [1,j]<-
0} }

Captot <-0
Rend <-0
Biorep <-0

   for (i in 1:length(edad)) {
   Cap [i,1] <- Nest [i,1] * (exp(-M) - exp(-M - F[F] * F exp [i]))/Gama [1]
   Rend <- Rend + (Cap [i,1] * Pesos octubre [i])
   Captot <- Captot + Cap [i,1]
   Noct [i,1]<-((Nest [i,1] * exp(-2/12 * M)-Cap [i,1] * Prop [1,1]) * exp(-4/12 * M)-Cap [i,1] *
                Prop [2,1]) * exp(-3.5/12 * M)-Cap [i,1] * Prop [3,1]/2

  if (i>1) {Biorep <- Biorep + Noct [i,1] * Pesos octubre [i] * Prop mad [i]}}
  if (Captot  > 0) {Cap [8,1]<-Cap [1,1] * (1-Prop mad [1])/Captot} else {Cap [8,1]<-0}
  if (Cap [8,1] > 0.2) {Noct [9,1]<- 1} else {Noct [9,1]<-0}
  if (Noct [7,1] >Brlímite) {Noct [8,1]<-0} else {Noct [8,1]<-1}

   acum [1,1] <- acum [1,1] + Noct [7,1]
   acum [2,1] <- acum [2,1] + Cap [7,1]
   acum [3,1] <- acum [3,1] + Cap [8,1]
   acum [4,1] <- acum [4,1] + Noct [8,1]
   acum [5,1] <- acum [5,1] + Noct [9,1]

  for (j in 2:length(anios)){
   for (i in 2:length(edad)) {
   Nest [i,j] <-(Nest [i-1,j-1]- Cap [i-1,j-1] * Gama [j-1] * exp(M)) * exp(-M)}
   Nest [6,j] <- Nest [6,j]+(Nest [6,j-1]-Cap [6,j-1] * Gama [j-1] * exp(M)) * exp(-M)

Captot <-0
Rend <-0
Biorep <-0

  for (i in 1:length(edad)) {
    Cap [i,j] <- Nest [i,j] * (exp(-M)-exp(-M- F[F] * F exp[i]))/Gama[1,j]
    Rend <- Rend + (Cap[i,j] * Pesos octubre[i])
    Captot <- Captot + Cap[i,j]
    Noct [i,j] <- ((Nest [i,j] * exp(-2/12 * M)-Cap [i,j] * Prop[1,j]) * exp(-4/12 * M)-Cap [i,j] *
Prop [2,j])
                 * exp(-3.5/12 * M)-Cap [i,j] * Prop [3,j]/2

    if (i>1) {Biorep <- Biorep + Noct [i,j] * Pesos octubre [i]* Prop mad [i]}}
```

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP

```
    if (Captot > 0) {Cap [8,j]<-Cap [1,j]*(1- Prop mad [1])/Captot} else {Cap [8,j]<-0}
    if (Cap [8,j] >0.2) {Noct [9,j]<- 1} else {Noct [9,j]<-0}
    if (Noct [7,j] > Brlímite) { Noct [8,j]<-0} else {Noct [8,j]<-1}

  acum [1,j]<- acum [1,j] + Noct [7,j]
  acum [2,j]<- acum [2,j] + Cap [7,j]
  acum [3,j]<- acum [3,j] + Cap [8,j]
  acum [4,j]<- acum [4,j] + Noct [8,j]
  acum [5,j]<- acum [5,j] + Noct [9,j]
   }
 next (n)
 }

nfila <- ((f[F] - 1)*7)+1
for (j in 1:length(anios)) {
  Resultados finales [nfila,j] <- fprob
  Resultados finales [nfila+1,j] <- j
  Resultados finales [nfila+2,j] <- acum [2,j]/tot_sims
  Resultados finales [nfila+3,j] <- acum [1,j]/tot_sims
  Resultados finales [nfila+4,j] <- acum [3,j]/tot_sims
  Resultados finales [nfila+5,j] <- acum [4,j]/tot_sims
  Resultados finales [nfila+6,j] <- acum [5,j]/tot_sims }
}

write.table (result,file="Resultados finales.txt", row.names=FALSE, col.names=TRUE)
```

COPIA ELECTRONICA INIDEP