
DISEÑO DE TRABAJOS DE CAMPO EN ORNITOLOGÍA: GUÍA PARA ROMPETECHOS

VERSIÓN 1.6

Julio 2003

por

Marcos Méndez Iglesias, físico teórico



ÍNDICE

1. Introducción: la historia natural como punto de partida.....	3
2. Educar la curiosidad	
Documentación previa	4
¿Cuánto documentarse?	6
Rastreado la bibliografía	7
3. Cómo responder las preguntas	
El método científico	8
Limitaciones de la observación casual	9
Tres tipos de estudios	11
Patrones y procesos	12
Experimentos	14
Diseños experimentales	15
4. Toma de muestras	
Necesidad del muestreo	17
Replicación	18
Pseudorreplicación	19
Aleatorización y dispersión	21
Tamaño de la unidad de muestreo	23
Eficacia, exactitud y precisión	24
Meticulosidad y consistencia	26
5. Planificando el trabajo	
Pasos a seguir	27
Errores a evitar	28
6. Los aficionados y la Ornitología “seria”	
Complementariedad	29
Lista de proyectos	30
7. Apéndices	
Revistas ornitológicas	31
Libros ornitológicos	32
Tabla de números aleatorios	33
8. Bibliografía	34

1. INTRODUCCIÓN: LA HISTORIA NATURAL COMO PUNTO DE PARTIDA

Todos admiramos a ese tipo de ornitólogos que son como “libros vivos”. Se han pasado tanto tiempo en el campo y tienen acumuladas tantas horas de observaciones que realmente parecen haber llegado a una especie de “nirvana” en la comprensión de las aves. No sólo reconocen cada especie de ave, sino que saben al dedillo lo que hace: dónde busca el alimento, en qué tipo de lugares nidifica, qué depredadores la acechan, cuándo viene y va, y las posibles causas de esas idas y venidas. Se podrían pasar horas contando los detalles de la vida de las aves. Ese tipo de conocimiento se denomina **historia natural**. Se obtiene mediante la observación de las aves -u otros organismos vivos- y encajando posteriormente esos fragmentos de información reunidos en numerosas salidas de campo, hasta que uno se hace una idea aproximada de “cómo funciona” tal o cual especie. Puede resumirse como una narración -una historia- de la “vida y milagros” de las aves, entre lo anecdótico y lo serio. Este tipo de conocimiento se ha hecho popular mediante los libros y documentales televisivos sobre la vida silvestre.

Hay mucho que aprender de tales “libros vivos”. Lo esencial es su actitud curiosa hacia la naturaleza. Ello les hace prestar atención a lo que ven, reparar en detalles, distinguir lo que es normal de lo que es anómalo en el comportamiento de las aves, organizar en su mente las observaciones que realizan y formarse una idea de lo que pasa. De ese modo han llegado a formar una auténtica colección de casos, un historial, sobre las aves. La historia natural es el punto de partida de cualquier estudio de campo, porque proporciona los hechos sobre los que uno quiere trabajar. Además, una vez adquirido ese bagaje de hechos, lo más normal es que surja una inquietud por querer explicarlos. Es aquí donde acaba la historia natural y comienza el estudio científico. Los ornitólogos aficionados se embarcan, de cuando en cuando, en estudios de campo. Desgraciadamente, a veces lo hacen sin un conocimiento adecuado de la metodología y las reglas necesarias para ello. Como consecuencia, la calidad de los datos que recogen es baja y su esfuerzo queda, en gran medida, malogrado. Dado que muchos aficionados a la Ornitología tienen un fuerte interés conservacionista, utilizan esos datos como apoyo a su postura. Si eso se hace con datos de mala calidad, o se hace interpretando inadecuadamente los resultados de dichos estudios, se puede conseguir el efecto opuesto al deseado y causar más daño que beneficio. Además, la credibilidad de su postura se resentirá.

Este manual está dedicado a introducir la mentalidad y los métodos necesarios para plantear un trabajo de campo en Ornitología. En primer lugar, explica por qué la historia natural - un buen punto de partida- no es suficiente y hace falta algo más cuando se trata de satisfacer la curiosidad sobre las aves. Es también un manual para formar -o cambiar- actitudes; si consigue eso habrá cumplido su labor. Y entonces uno ya podrá consultar libros especializados y enterarse de verdad de lo que vale un peine en la planificación de estudios de campo.

2. EDUCAR LA CURIOSIDAD: DOCUMENTACIÓN PREVIA

Tu actitud curiosa te ha llevado a plantearte la posibilidad de realizar un estudio de campo, a fin de averiguar la causa de un fenómeno concreto relacionado con las aves. ¿Cuál es el siguiente paso? Lo primero que debes hacer es **educar tu curiosidad** y documentarte, por varias razones.

En primer lugar, el problema a resolver puede ser una solemne estupidez. Algunos aficionados opinan que "Todo es interesante", pero eso no es cierto. Probablemente nadie sabe cuántas plumas tiene un cuervo en la cabeza, pero eso no quiere decir que sea interesante contarlas. Tampoco tiene sentido preguntarse en qué piensa un pájaro cuando duerme. De todas las cuestiones posibles, sólo algunas tienen sentido: aquellas que aportan algo al conocimiento de la biología, ecología, etc., de una especie, grupo o hábitat. Existe una larga tradición ornitológica y ya se ha acumulado gran cantidad de conocimiento, a la vez que se ha definido una serie de líneas de trabajo para responder a preguntas aún por resolver. La mejor manera de averiguar qué es interesante y qué no lo es es **leer sobre Ornitología** y formarse un esquema mental de qué es lo que se conoce y dónde se necesita más información (Tabla 1).

En segundo lugar, puedes haber malinterpretado lo que has visto. De eso no se libra ni el observador más experimentado. La pura observación no conduce al conocimiento; necesita de cierto soporte teórico, que organice y dé sentido a dichas observaciones. Si no te documentas, no podrás poner tus observaciones en un contexto adecuado.

En tercer lugar ¿cómo estar seguro de que el estudio que quieres realizar no ha sido hecho ya? Podrías perder el tiempo "reinventando la rueda". Acudiendo a la bibliografía puedes averiguar si tu pregunta ya ha sido respondida. En caso negativo, quizá encuentres que la cuestión ha sido tratada en otra especie, o grupo de especies, o hábitats, y podrás beneficiarte de la experiencia acumulada por otros ornitólogos. Por ejemplo, la bibliografía te ayudará a decidir:

1. qué es lo que realmente se sabe y cuales son las lagunas existentes en el tema; quizá todo está resuelto (no necesariamente en tu área de estudio, pero eso no tiene por qué justificar un trabajo de campo) o quizá precisamente tu pregunta puede contribuir a una mejor comprensión del problema,
2. cómo se planifica un estudio de ese tipo, o sea, cuantas personas o qué equipamiento son necesarios, cuánto tiempo requiere, con qué frecuencia deben hacerse las observaciones, etc.,
3. si el estudio es factible con los medios materiales o el tiempo de que dispones,
4. qué variables es más conveniente medir, o en qué aspectos vale la pena fijarse,
5. cómo medir dichas variables para que tus resultados sean comparables con los encontrados por otras personas.

Elucubrar en vacío es la mejor manera de discurrir chorradas. La documentación previa no matará tu imaginación, simplemente te hará más sabio.

Tabla 1. Tipo de preguntas tienen sentido en Ornitología (modificado de Ford, 2000).

(1) Interpretación de observaciones de algún fenómeno natural a la luz de alguna teoría ya existente.

Ejemplo.- La variación estacional en la abundancia del paseriforme X ¿se debe a la migración de dicha especie?

(2) Aplicación de una teoría a una nueva situación.

Ejemplo.- Estudio de la migración altitudinal de una especie, como análogo a escala reducida del fenómeno de la migración latitudinal.

(3) Resolución de una discrepancia en una teoría o entre dos teorías, o investigación de un fenómeno que no se ajusta a las predicciones de una teoría.

Ejemplo.- Se sabe que en rapaces las hembras son mayores que los machos ¿puede ello reconciliarse con el patrón general de que los machos suelen ser mayores que las hembras en otros grupos de aves?

(4) Aplicación de una nueva técnica de medida o de análisis de datos a un problema ya existente.

Ejemplo.- Uso de radioseguimiento para el estudio de la migración altitudinal.

2. EDUCAR LA CURIOSIDAD: ¿CUÁNTO DOCUMENTARSE?

El trabajo de documentación debe hacerse con cierta lógica. Hay que distinguir claramente entre la documentación general y la documentación para un estudio concreto. En el primer caso, uno alimenta su cultura ornitológica y no tiene por qué ponerse un límite; en el segundo sí, por motivos prácticos.

Es muy importante adquirir cierta cultura ornitológica -o zoológica- general. Esa cultura general proporciona "herramientas mentales" para interpretar las observaciones o para tratar de abordar un estudio de campo. Por tanto **tienes que documentarte, pero no exclusivamente sobre la especie que vas a estudiar, sino sobre el tema general del estudio**. Hay cosas interesantes que hacer con cada especie que no se pueden descubrir por mucho que se haya leído sobre ella. Quizá algo interesantísimo de aplicar a las aves sólo se ha hecho antes con, vete a saber, elefantes africanos. Procura no tener una visión demasiado centrada en especies (o en las aves); muchas veces puedes beneficiarte de la experiencia de investigadores en otras áreas.

Por otro lado, al leer para planificar un estudio de campo determinado, recuerda que **documentarse no significa saberlo TODO sobre un tema; sólo lo necesario**. Cuando la información disponible sobre un tema es escasa, no hay ningún problema. Pero si estás interesado en una especie común, puedes encontrarte con una cantidad enorme de trabajos previos. Eso no significa que tengas que leértelos todos. Por un lado, algunos tratarán temas que no te interesan para nada. Pero incluso dentro de aquellos que tratan el tema que te interesa no todos serán igualmente importantes; algunos pueden tener muy mala calidad o estar publicados en revistas inaccesibles. A menos que sospeches fuertemente que esos artículos van a darte la clave para algo que realmente vas a necesitar (algún método de muestreo que no sabes, algún resultado novedoso, etc.), no vale la pena lanzarse a conseguir y leer cientos de trabajos. La especie se extinguirá antes de que leas todo lo que se publica sobre ella... incluso ciñéndote sólo al tema que te interese. Es más fructífero centrarse en un conjunto mucho más reducido de trabajos, que te den una idea general sobre el sistema que quieres estudiar.

Una manera de seleccionar los trabajos es: (1) no leas los que sean muy antiguos...; los tiempos cambian y las cosas se quedan desfasadas, y (2) ¡fíjate en las revistas! Algunas revistas tienen más prestigio que otras y lo que se publica en ellas es más probable que sea de valor e interesante. Para guiarte en la discriminación de revistas sólo hay que echar un vistazo a la lista de referencias que se citan al final de los artículos; en seguida queda claro qué revistas se mencionan con más frecuencia. En poco tiempo cogerás experiencia y sabrás a qué atender. En el apéndice I se da una lista de revistas que conviene consultar. A veces te interesará algo publicado en una revista "rara" o local y puedes conseguir ese artículo concreto. Pero en general, el hacerse un esquema mental de revistas a mirar es lo más adecuado.

2. EDUCAR LA CURIOSIDAD: RASTREANDO LA BIBLIOGRAFÍA

Los libros y revistas ornitológicas son las fuentes de documentación que debes consultar antes de ningún trabajo. Si puedes permitirte, construye poco a poco tu propia biblioteca ornitológica, con una serie de libros básicos, y suscríbete a alguna revista ornitológica interesante. En los apéndices I y II se proporciona una lista básica de revistas y libros ornitológicos para adquirir "culturilla" ornitológica.

Si tus recursos económicos son limitados, la estrategia es localizar las bibliotecas en que se guardan dichos libros y revistas. Generalmente, en las universidades y museos de ciencias existirá una biblioteca; descubre cuáles son las posibilidades de acceso (visita personal, solicitud de fotocopias). Algunas sociedades ornitológicas también poseen una biblioteca que puede visitarse.

En muchos casos, localizar la información sobre un tema dado buscando al azar es inviable. Una posibilidad es contactar con algún especialista para que te aconseje bibliografía introductoria. Otra es comenzar consultando libros generales o revistas en las que se publican revisiones (como *Current Ornithology* o *Annual Review of Ecology and Systematics*). En ellos pueden encontrarse capítulos o artículos que citarán abundante bibliografía. La tercera posibilidad es utilizar alguna de las bases de datos bibliográficas existentes. Estas pueden estar en forma de libro o informatizadas. Las más útiles, desde el punto de vista de la Ornitología, son *Zoological Records* y *Biological Abstracts*. Incluyen una serie de índices de temas, autores y especies, además de un resumen de los trabajos indexados y la dirección de los autores. Pueden consultarse utilizando palabras clave para obtener la lista de artículos que se ajustan a lo que vas buscando. Suelen estar disponibles en universidades y museos.

Para estar al corriente de lo que se va publicando pueden consultarse directamente los números recientes de las revistas ornitológicas o el *Current Contents*, una revista que recoge los índices de numerosas revistas ornitológicas. Los índices de muchas revistas ya se pueden consultar a través de Internet. El *Current Contents* suele estar disponible en las bibliotecas de universidades y museos; comprueba las posibilidades de acceso a ese recurso. En cualquiera de los casos, se puede conseguir la dirección postal o electrónica de los autores de los trabajos y solicitarles una copia de los artículos. Las revistas suelen dar a los autores determinado número de copias de los artículos, para ese fin.

En Internet puede consultarse *Recent Ornithological Literature online*, un compendio de todos los trabajos ornitológicos publicados a lo largo del año. El listado viene ordenado por temas e indica brevemente el contenido de cada artículo listado. La dirección de esta base de datos es:

<http://www.nmnh.si.edu/BIRDNET/ROL/>

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: EL MÉTODO CIENTÍFICO

Si sales al campo, eres curioso y estás dándole vueltas a cómo resolver determinada duda que te ha surgido como consecuencia de tus observaciones, tienes dos de los ingredientes básicos necesarios para emprender un estudio de campo en Ornitología: **curiosidad** y un **objetivo**. Pero eso sólo no basta. Hace falta también un **método**.

Uno puede intentar responder la duda planteada sentado en casa, discurriendo, mientras ve la tele. O consultando a una pitonisa, o los posos del café. O uno puede salir al campo y recoger datos a tontas y a locas, sin una idea demasiado clara de lo que hace. Pero no son métodos que den buen resultado en Ornitología. Por eso, a lo largo del tiempo, las personas curiosas han desarrollado lo que se conoce como **método científico** (Fig. 1). Básicamente, consta de tres fases. La primera fase consiste en la **observación** de algún fenómeno natural que despierta el interés y plantea alguna pregunta acerca de su causa. En la segunda fase, de carácter teórico, se plantea una explicación provisional para dicho fenómeno, una **hipótesis**, en unos términos tales que pueda comprobarse realizando nuevas observaciones. En la tercera fase, de carácter práctico, se realizan una serie de **observaciones sistemáticas** y, en base a ellas, la hipótesis se ve confirmada o refutada. En este último caso, las observaciones pueden sugerir una nueva hipótesis, que puede ser posteriormente comprobada mediante nuevas observaciones.

El establecimiento de hipótesis es una parte importantísima del método científico; sin una hipótesis o teoría subyacente es difícil o imposible interpretar las observaciones. La teoría puede venir dada por las observaciones preliminares o ser producto del conocimiento previo sobre el tema o sobre el grupo estudiado. Ese conocimiento previo puede tomarse de la bibliografía, con lo cual uno no tiene que aprenderlo todo de nuevo. Algo fundamental es que la hipótesis se formule en los términos adecuados: debe ser consistente con las observaciones e información ya disponible, y a la vez debe poder contrastarse mediante la realización de nuevas observaciones o experimentos.

Las observaciones son también muy importantes. Sin ellas, cualquier pregunta planteada se queda en simples elucubraciones mentales. Y además, es importante que las observaciones se planifiquen y realicen con el cuidado suficiente como para que permitan distinguir entre hipótesis alternativas.

El método científico alterna las fases de observación y de emisión de hipótesis hasta llegar a una explicación satisfactoria del fenómeno de interés.

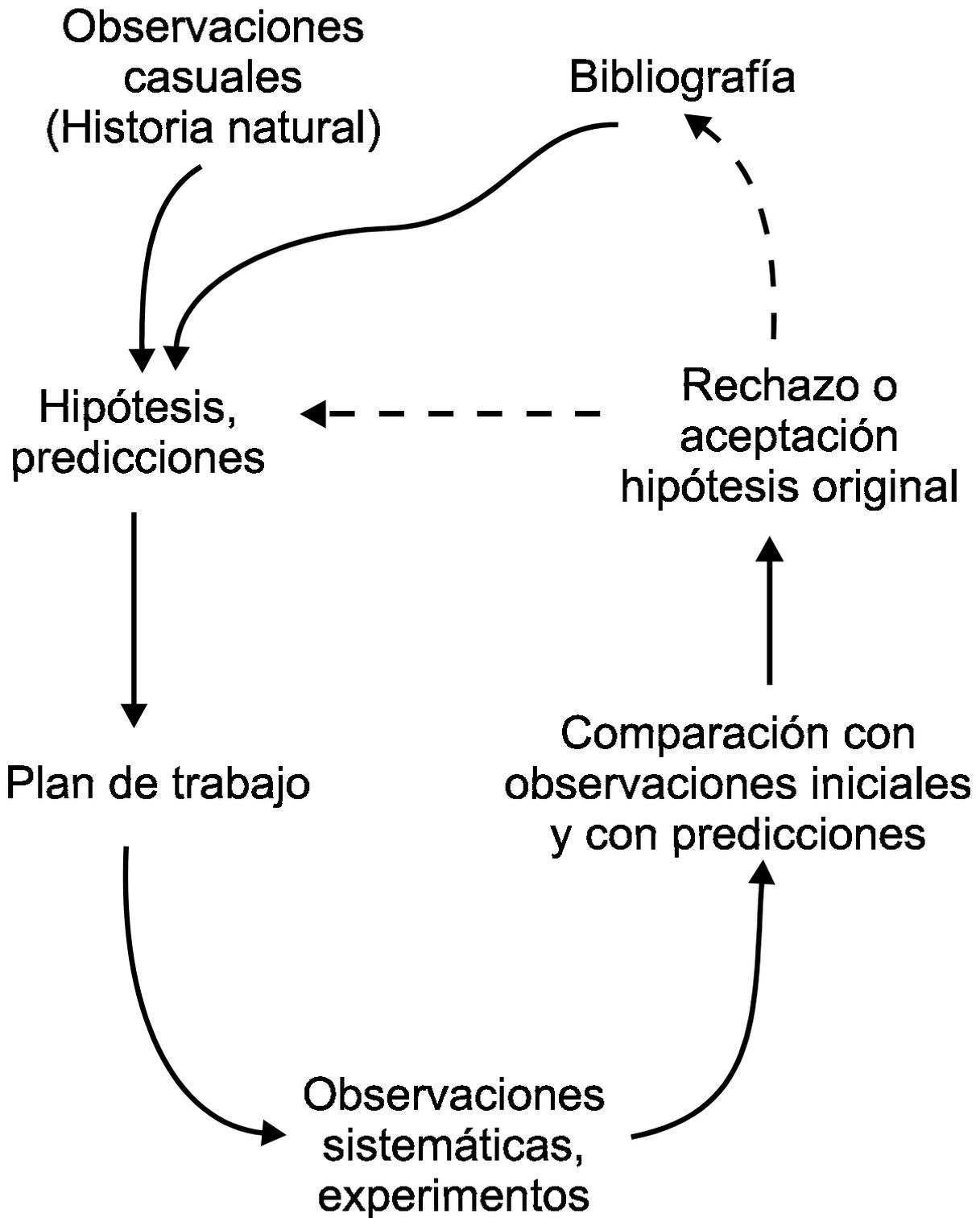


Fig. 1. Esquema de los pasos seguidos en el método científico. Comienzan con los situados en la parte superior de la figura y prosiguen de acuerdo con las flechas continuas. Las flechas discontinuas indican el paso a un nuevo “bucle” de establecimiento de hipótesis y su contraste mediante observaciones.

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: LIMITACIONES DE LA OBSERVACIÓN CASUAL

Las preguntas que despiertan nuestra curiosidad suelen originarse en **observaciones casuales** de algún fenómeno natural, en la "historia natural". Es famosa la anécdota de que la caída de una manzana despertó el interés de Newton por el estudio de la gravedad. Es muy tentador basarse simplemente en la recopilación no exhaustiva de datos para responder a la pregunta que ellos mismos han originado. Esa alternativa no es demasiado recomendable. Si se toman datos simplemente de modo ocasional, sin ningún plan previo, se producirán con seguridad varias situaciones bastante inconvenientes.

1) Es muy difícil descartar ninguna hipótesis alternativa para la explicación que pueda ocurrírsete. En el momento de dar "un sentido" a los datos, te sentarás ante los mismos y te preguntarás ¿qué puedo sacar de aquí? ¿qué me dicen mis datos? La respuesta a ambas preguntas, en la mayor parte de los casos, será: muy poco.

2) Los datos tomados pueden ser de "mala calidad", es decir, no tienen el debido rigor. Por ejemplo, hay variables cuya medición resulta evidente, como el número de patas. Pero otras pueden medirse de muchas maneras, como la composición de la dieta de un ave. Si no has decidido previamente cómo medir las cosas, puedes encontrarte con que has medido lo mismo de modos diferentes. También puedes olvidar medir algo importante. Todo eso, en el mejor de los casos, introducirá en tus datos un error evitable, y en el peor de los casos, los hará inservibles.

Por tanto, la historia natural y las observaciones ocasionales son una ayuda indiscutible para *plantearse* preguntas, pero una receta muy mala para *resolverlas*. En su lugar, será necesario trazar algún tipo de **plan sistemático de observación**. Cuando no se sigue ningún esquema previo es fácil cometer los siguientes errores:

1) pasar por alto factores que pueden influir en la interpretación de los posibles resultados y que, al no haber sido medidos, hacen inútil todo el trabajo. En ocasiones, intentarás justificar la poca importancia de esos factores de un modo u otro, pero no son más que parches a un trabajo mal hecho,

2) tomar demasiados datos, con lo cual has hecho un esfuerzo en vano, y tendrás información inútil,

3) tomar muy pocos datos, con lo que no es posible llegar a ninguna conclusión. De nuevo, has trabajado en vano.

Puedes pensar que todo eso requerirá mucho tiempo... ¡Has acertado! Hacerse preguntas requiere mucho menos trabajo que encontrar las respuestas. Pero el planificar el estudio es, en realidad, la única forma de no perder el tiempo, bien por haber trabajado en exceso o por haber trabajado demasiado poco (pero de modo inútil).

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: TRES TIPOS DE ESTUDIOS

Un aspecto a tener en cuenta al planificar el trabajo es qué tipo de estudio se pretende. Todos los trabajos de campo que puedas conocer se agrupan en uno de estos tres tipos:

1. Observaciones, o estudios descriptivos.- Se toman datos de acuerdo con un plan, pero el observador no realiza ningún tipo de manipulación del sistema estudiado. Aquí el observador actúa como un mero notario de lo que pasa. Investiga qué ocurre, con qué frecuencia, en qué momentos del año, en qué cantidades, etc., pero "desde fuera", sin influir en los organismos estudiados.

Ejemplo.- Los estudios sobre la avifauna de una región dada son descriptivos. Se contabiliza el número de especies, la abundancia de cada una, en qué momento del año están presentes, qué hábitats utilizan, etc.

2. Experimentos naturales.- En este tipo de estudios se toma ventaja de hechos que ocurren de modo excepcional y que proporcionan información que de otro modo no sería posible obtener. No se manipula intencionadamente la Naturaleza, pero esos acontecimientos raros funcionan a modo de "experimento" frente a la situación normal.

Ejemplo.- El estudio de las capacidades de colonización de una especie de ave es difícil pues normalmente las áreas de distribución no varían demasiado. Pero las ocasionales invasiones (como la de la Tórtola Turca en Europa) permiten estudiar la velocidad de colonización de nuevos territorios, etc. El número de especies presentes en un hábitat también tiene causas inciertas. La introducción accidental (o intencionada, pero no por razones científicas) por el hombre de especies en islas sirve como experimento natural para ver el efecto sobre la avifauna autóctona en la superioridad competitiva, el reparto de recursos entre especies, etc.

3. Experimentos, o estudios experimentales.- En este caso, el observador manipula de algún modo predeterminado los organismos de estudio, para comprobar el efecto de dicha manipulación.

Ejemplo.- Las golondrinas hembra eligen pareja basándose en la longitud de la cola de los machos. Se han hecho experimentos en los que a una serie de machos se les recortó (a tijerazo limpio) la cola, mientras que a otros se les añadió un trozo adicional (a base de pegamento). Posteriormente se comprobó si las hembras preferían a los machos con la cola alargada experimentalmente, frente a los machos con la cola recortada.

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: PATRONES Y PROCESOS

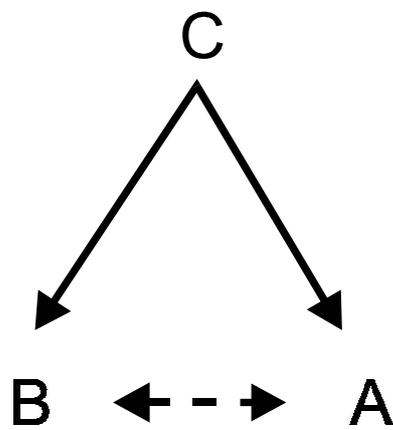
La distinción entre los tres tipos de estudios recién presentada es esencial, porque proporcionan información muy diferente y la solidez de las conclusiones que pueden extraerse de cada uno de ellos es también distinta.

Los estudios descriptivos proporcionan información sobre los **patrones** o reglas generales que afectan a un fenómeno. No necesitan una teoría subyacente muy definida. Puedes comenzar a intuir que existe cierta regularidad en el comportamiento de una especie, o cierta tendencia en la fenología de otra, a partir de observaciones ocasionales. Pero generalmente necesitarás hacer un estudio descriptivo metódico simplemente para confirmar dichas intuiciones, para descubrir realmente cuál es el patrón, la norma que rige el fenómeno que te interesa. Los estudios descriptivos responden a la pregunta "¿Qué está pasando?" con la contundente respuesta "¡Colegas, esto es lo que hay!".

Sin embargo, la descripción de patrones es sólo un primer paso. Debes tener en cuenta que la correlación entre variables no implica una relación causal (Fig. 2). Por ejemplo, que la mayor parte de los individuos de una especie aparezca en un hábitat dado no indica que ese sea el hábitat ideal de la especie; podría ser relegada allí por una especie mejor competidora que ella. Un estudio descriptivo no permite discriminar entre los diferentes **procesos** o causas que pueden explicar dichos patrones. Dado que en los estudios descriptivos no se realiza ningún tipo de manipulación, se tiene muy poco o ningún control sobre los factores que pueden afectar a los patrones descubiertos. Por ejemplo, un estudio descriptivo puede revelar que la abundancia de una especie de ave en determinada región costera es mayor en el invierno que en el verano. Pero no permite saber si ello es debido al reclutamiento de jóvenes tras la reproducción, a una migración altitudinal, a una migración desde otras regiones, o a una combinación de todo eso. Para averiguarlo es preciso realizar alguna manipulación del sistema, para poder identificar los procesos que están operando. Eso es lo que se consigue mediante los experimentos naturales y los estudios experimentales. La pregunta, en este caso, es "¿Cómo se produce esto?" y la respuesta, según los casos, será "De esta manera" o "Al menos, no de esta manera".

Por tanto, al emprender un estudio debes tener claro qué es lo que buscas: describir un patrón que sospechas que existe, o identificar las causas de dicho patrón, o ambas cosas. Eso te ayudará a decidir qué tipo de estudio debes realizar. Y también te hará consciente de cuál es la información que tendrás cuando lo hayas realizado. Así evitarás la interpretación errónea y la "sobreinterpretación" de tus datos. Es muy común utilizar estudios descriptivos para apoyar algún proceso o causa concretos; como ya ha debido quedar claro, eso es totalmente incorrecto y sólo mediante experimentos se puede distinguir entre causas posibles para un patrón dado.

A)



B)



Fig. 2. Una correlación entre variables no implica una relación de causa a efecto entre las mismas. En el caso A) los fenómenos A y B se ven afectados por el fenómeno C, que es la causa (flecha continua) de ambos. Dado que si ocurre C también ocurrirán A y B, estos dos últimos fenómenos se presentarán juntos y por tanto estarán correlacionados (indicado por la flecha discontinua). Pero no tienen entre sí una relación de causa a efecto. En el caso B) el fenómeno A es causa directa del fenómeno B.

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: EXPERIMENTOS

Los **experimentos** consisten en la manipulación deliberada de alguna parte del sistema de estudio, con el fin de determinar su influencia sobre el sistema. Permiten separar el efecto de un determinado **factor** o factores del resto de variables que pueden influir en el sistema. La manera habitual de conseguir esto es establecer grupos de individuos (u otra **unidad experimental**) y someter cada uno de ellos a un grado diferente del factor, mientras el resto de variables se mantiene constante. Los diversos grados del factor se denominan **tratamientos**. Pueden consistir en la simple presencia o ausencia del factor (p. ej. depredadores) o de una modificación cuantitativa de un factor que siempre está presente (p. ej. densidad). Para evaluar el efecto del factor modificado debe incluirse SIEMPRE un grupo adicional de individuos en el que no se realiza ninguna manipulación y que funciona como **control** del experimento, es decir, que proporciona la línea de base para la comparación del efecto de la manipulación introducida.

Un aspecto fundamental de un experimento es que los grupos deben diferir *únicamente* en el factor a estudiar. Eso se consigue mediante un adecuado **diseño experimental**, que reduzca o elimine otras fuentes potenciales de variación que se confundan con el factor de interés. Un modo de eliminar otros factores es el ajuste riguroso de las condiciones del experimento -normalmente realizado en condiciones de laboratorio-. En muchos casos eso no es posible, pero aún así es posible tener un **control estadístico** de las condiciones experimentales. Ello exige la aleatorización, replicación y dispersión de las unidades experimentales dentro y entre tratamientos. El modo en que se realiza se explica más adelante. De ese modo aseguras que no se produce ningún sesgo de partida (p. ej. tamaño de los individuos) entre los grupos a comparar. En la Tabla 2 se muestra una lista de factores de confusión que pueden afectar a los tratamientos, y el modo de controlarlos mediante el diseño experimental.

Fuente de confusión	Solución para reducirla o eliminarla
1. Cambio temporal	Tratamiento control
2. Efectos del tratamiento	Tratamiento control
3. Sesgo del experimentador	Aleatorización de las unidades experimentales
4. Variación inherente entre las unidades experimentales	Replicación dentro de los tratamientos Dispersión de los tratamientos
5. Sucesos imprevistos una vez comenzado el experimento	Replicación dentro de los tratamientos Dispersión de los tratamientos

Tabla 2. Fuentes potenciales de confusión en los experimentos, y modo en que el diseño experimental las reduce o elimina (simplificado de Hurlbert, 1984).

3. CÓMO RESPONDER LAS PREGUNTAS: DISEÑOS EXPERIMENTALES

Los experimentos más sencillos manipulan un solo factor y mantienen constante el resto (Fig. 3 A). Estos diseños sencillos pueden refinarse cuando se sospecha que existe alguna estructura subyacente en las unidades experimentales. Entonces pueden establecerse **bloques**, o sea, grupos homogéneos de dichas unidades, dentro de los cuales se reparten aleatoriamente los tratamientos (Fig 5 C). Otra modificación del diseño básico es la realización de **medidas repetidas** sobre las mismas unidades experimentales (Fig. 3 B). Las medidas realizadas en cada unidad experimental no son independientes entre sí y requieren un tipo de análisis específico.

También se pueden modificar varios factores a la vez, de diversos modos. En un **diseño factorial** se modifican dos o más factores independientes (Fig. 3 C). Por ejemplo, si se quiere estudiar la influencia de los factores A y B sobre determinado fenómeno, tendrán que establecerse varios tratamientos: (1) en uno de ellos se manipula simplemente el factor A, (2) en otro se manipula el factor B, (3) en otro se manipulan tanto A como B, y (4) en el último grupo no se manipula ninguno de ellos. Los grupos (1) y (2) permiten examinar la influencia de cada factor por separado y corresponden a experimentos sencillos. Pero el diseño factorial permite, mediante el grupo (3), examinar el efecto de las **interacciones** entre tratamientos. Los factores pueden tener efectos independientes (también llamados aditivos), pueden reforzarse mutuamente o pueden anularse uno a otro. En los dos últimos casos existe una interacción entre factores.

En un **diseño anidado** se modifican dos o más factores, pero estos no son independientes sino que tienen una relación jerárquica entre sí (Fig. 3 D), por ejemplo, parejas dentro una población o puestas de una misma pareja. Los factores no son independientes entre sí, pues los factores en el nivel más bajo de la jerarquía se miden sobre las mismas unidades de muestreo que los factores del nivel o niveles superiores. Por el contrario, en los diseños factoriales, cada combinación de factores se mide en unidades experimentales diferentes.

En cualquier tipo de diseño experimental debe procurarse siempre asignar idéntico número de unidades experimentales a cada nivel o combinación de niveles de los tratamientos. Ello simplifica enormemente el análisis posterior de los datos.

A) Diseño simple

Factor A		
Nivel a	Nivel b	Nivel c
n	n	n

B) Diseño de medidas repetidas

Factor A			
	Nivel a	Nivel b	Nivel c
Tiempo 1	n	n	n
Tiempo 2	n	n	n
Tiempo 3	n	n	n

C) Diseño factorial

		Factor A	
		Nivel a	Nivel b
Factor B	Nivel x	n	n
	Nivel y	n	n
	Nivel z	n	n

D) Diseño anidado

Factor A					
Nivel a		Nivel b		Nivel c	
Factor B		Factor B		Factor B	
N x	N y	N x	N y	N x	N y
n	n	n	n	n	n

Fig. 3. Diferentes tipos de diseño experimental. En todos los casos se han asignado n unidades experimentales a cada nivel del tratamiento o combinación de tratamientos. A) Diseño simple con un factor y tres niveles. B) Diseño de medidas repetidas, con un factor, tres niveles y tres repeticiones en el tiempo. C) Diseño factorial con dos factores, uno con dos niveles y otro con tres. D) Diseño anidado; los dos niveles del factor B se “anidan” jerárquicamente dentro de los tres niveles del factor A. En todos los casos, uno de los niveles de cada tratamiento debe corresponder al control.

4. TOMA DE MUESTRAS: NECESIDAD DEL MUESTREO

Se trate de estudios observacionales o experimentales, uno siempre está interesado en responder a una cuestión de carácter más o menos general, pero eso plantea una serie de dilemas. Si te interesa el éxito reproductor del Halcón Peregrino no puedes embarcarte en la visita de todos los nidos de la especie que existen en el mundo; ni siquiera de los existentes en un país o en una región. Por eso es importante definir la **población** de estudio, en el sentido estadístico del término. Se trata de fijar el marco espacial y temporal para el que se quiere responder a la cuestión planteada. ¿Te interesa tener una idea a nivel nacional, regional o local del éxito reproductor del Halcón Peregrino? En función de ello obtendrás unos datos u otros y tus conclusiones quedarán limitadas por dicha toma de datos. No deberías extraer conclusiones a nivel nacional cuando tu estudio ha sido local o regional.

En relación con ese primer dilema se plantea otro. ¿Cuántos datos debes tomar? La respuesta es: los necesarios, ni muy pocos ni demasiados. Esto parece un chiste pero tiene mucho sentido. Con un solo o muy pocos datos hay escasas probabilidades de obtener ningún resultado claro. Puedes haber tomado el individuo anómalo, el día especial, el hábitat inusual, el fenómeno único. Por otro lado, cuantos más datos se tomen mejor representado quedará el fenómeno a estudiar. Pero eso puede no ser práctico o realista, incluso tras haber elegido un marco espacial o temporal limitado. Medir, contar, o en general estudiar todos los organismos, días, hábitats o fenómenos puede ser simplemente inviable, por falta de tiempo, dinero o de accesibilidad. Así que habrá de elegir alguna opción intermedia. Uno puede hacerse una idea cabal de un fenómeno y economizar trabajo estudiando sólo una parte de la población de estudio. En ello consiste el muestreo.

Una **muestra** es una parte de la población que se pretende estudiar. Las muestras se componen de **unidades de muestreo** o **réplicas**, que son cada uno de los elementos que forman la muestra. Según los casos se tratará de individuos, de parejas, de poblaciones, de hábitats, de nidos, etc. Debes pensar cuidadosamente sobre cuál es la unidad de muestreo en que estás interesado, para no caer en problemas como la pseudorreplicación, que se discute más adelante.

La utilización de muestras, por las razones expuestas más arriba, lleva implícita una pérdida de precisión en el conocimiento del sistema de estudio. Por eso debes asegurarte de que dichas muestras se obtienen del mejor modo posible y son **representativas** de la población que quieres estudiar, es decir, no dan una imagen distorsionada de la misma. ¿Dónde, cómo y cuántas muestras se deben tomar para lograrlo? Responder a dichas preguntas es la labor del **diseño del muestreo**. Como primera aproximación, las muestras deben recogerse de modo que se consiga una adecuada **independencia, replicación, dispersión y aleatorización** de las mismas. En los siguientes apartados se explican cada uno de estos términos, que son aplicables, casi sin modificación, al diseño de experimentos discutido más arriba.

4. TOMA DE MUESTRAS: REPLICACIÓN

Una representación adecuada de una población requiere la replicación. Como ya se dijo, el estudio de una sola unidad de muestreo no puede dar una idea cabal de la población, debido a la variación intrínseca entre las unidades de muestreo. Por ejemplo, la altura de los habitantes de una ciudad no puede describirse adecuadamente utilizando un solo individuo. Dado que la altura varía de unos individuos a otros, la única manera de conseguir una visión representativa de la misma es medirla en varios individuos de la ciudad, es decir, de replicar las medidas. La imagen del fenómeno será más detallada cuanto cuantas más observaciones se realicen, o sea, cuanto mayor sea el **tamaño de muestra**. El tamaño de la muestra se decidirá en función de varios factores.

(1) El límite superior al tamaño de muestra vendrá dado por el esfuerzo que requiere obtener cada dato. Si el esfuerzo requerido es pequeño, conviene tener un tamaño de muestra grande. Si el esfuerzo es muy grande, o supone un procedimiento destructivo (daño o muerte de los individuos o de los hábitats), habrá que limitar en lo posible el daño inflingido al sistema de estudio.

(2) El límite inferior al tamaño de muestra lo determinan los requisitos necesarios para hacer un análisis estadístico de los datos. Eso dependerá de la variación que existe en el fenómeno. Cuanto más variable sea el fenómeno que se pretende estudiar, mayor debería ser el tamaño de muestra. En los libros de Estadística vienen fórmulas matemáticas que pueden usarse para relacionar la variación presente en el fenómeno con el tamaño de muestra. Ningún test funcionará con un tamaño de muestra de 5 o menos; rara vez tamaños de muestra por debajo de 10 serán admisibles. Como valor indicativo puede tomarse el de 30 datos, pero dependerá mucho del caso concreto.

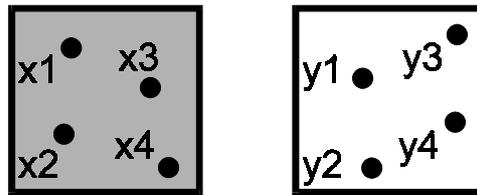
Consideraciones similares se aplican al número de localidades de estudio, así como a la frecuencia de la toma de muestras. En ambos casos, deberán permitir caracterizar el fenómeno adecuadamente en el espacio y en el tiempo y deberán guardar un balance entre el esfuerzo requerido para obtener los datos, por una parte, y la consideración de la variabilidad espacial y temporal del fenómeno estudiado, por otra. Si los fenómenos a estudiar son poco variables entre lugares, pueden caracterizarse usando uno o unos pocos sitios (lo mismo vale para la variabilidad temporal).

4. TOMA DE MUESTRAS: PSEUDORREPLICACIÓN

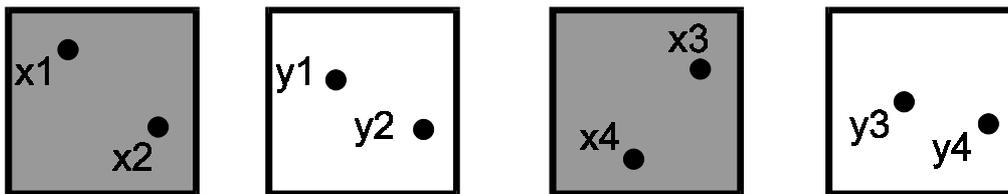
Las muestras deben ser **independientes** para conseguir una representación adecuada del fenómeno de estudio. Es decir, el valor obtenido en una observación no debería estar afectado por los valores obtenidos en las restantes observaciones. La **pseudorreplicación** es un defecto de la planificación del muestreo que hace que las muestras no sean independientes, debido a una malinterpretación del tamaño real de muestra. Se comete pseudorreplicación cuando se exagera el número de réplicas que componen la muestra al considerar como independientes datos que no lo son.

Hay tres tipos principales de pseudorreplicación. En la **pseudorreplicación simple** se consideran como réplicas independientes las medidas sobre una misma unidad de estudio (Fig. 4 A), cuando en realidad no existe replicación. Considerar las dos alas de un ave como medidas independientes es un caso de pseudorreplicación simple. En la **pseudorreplicación por sacrificio** existe una replicación adecuada pero se exagera el tamaño de muestra al considerar como independientes varias medidas tomadas sobre cada unidad de muestreo (Fig. 4 B). Imagina que para caracterizar la longitud de las alas de una especie de ave necesitas realizar 50 medidas (esa es la replicación). Hay dos posibilidades; tomar 25 individuos y medir las dos alas, o tomar 50 individuos y medir un ala (tomada al azar) por individuo. Como las dos alas de un mismo individuo serán más similares entre sí que las alas de dos individuos distintos, la primera opción subestima la variabilidad en las longitudes alares. Además se ha cometido pseudorreplicación, porque las dos alas de un mismo individuo no constituyen datos independientes y el tamaño real de muestra es 25, no 50. En la **pseudorreplicación temporal** se consideran como réplicas las medidas tomadas sobre una misma unidad de muestreo a lo largo del tiempo (Fig. 4 C). Las medidas de una misma unidad, aunque estén tomadas en distintos momentos, nunca son independientes.

A) Pseudorreplicación simple



B) Pseudorreplicación por sacrificio



C) Pseudorreplicación temporal

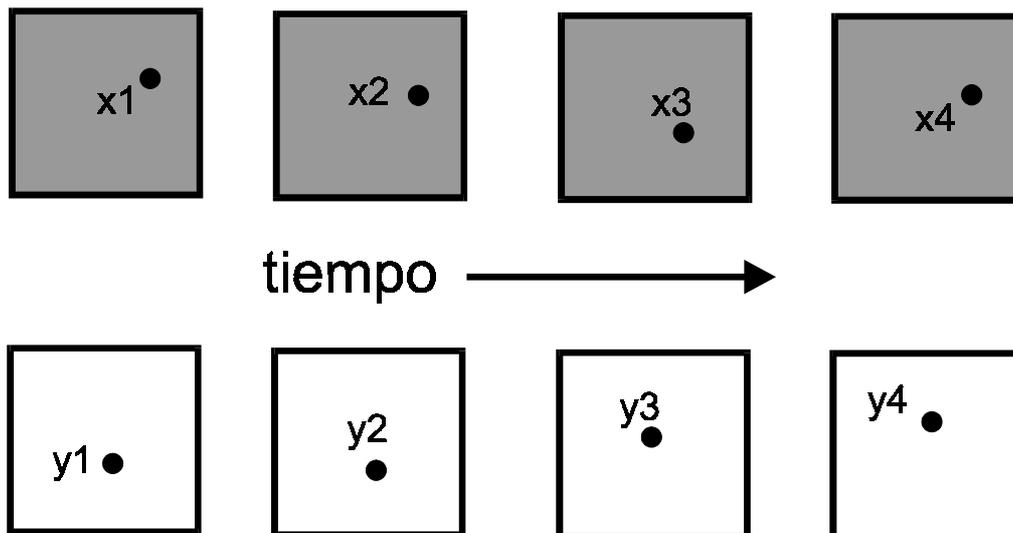


Fig. 4. Pseudorreplicación. Hay dos grupos de muestras, indicadas con distinto sombreado, que pueden corresponderse con dos tratamientos experimentales o simplemente con dos poblaciones de estudio en un trabajo descriptivo. Cada cuadrado es una unidad muestral, y los puntos dentro de ellos son medidas. A) Aunque existe una réplica por grupo, el experimentador piensa que se trata de cuatro (x_{1-4} e y_{1-4}) y comete pseudorreplicación simple. B) Existen dos réplicas por grupo, pero el experimentador piensa que se trata de cuatro, con lo cual comete pseudorreplicación por sacrificio. C) Existe una sola réplica por grupo, de la que se toman medidas en cuatro momentos; el experimentador piensa que son cuatro réplicas e incurre en pseudorreplicación temporal. (Redibujado de Krebs, 1989).

4. TOMA DE MUESTRAS: ALEATORIZACIÓN Y DISPERSIÓN

De nada sirve tomar muestras si estas no son representativas de la población. Eso quiere decir que no deben favorecer la medida o el conteo de ninguna unidad de muestreo respecto a otra. Si se toman las muestras sin más es probable elegir los lugares más accesibles, los individuos más lentos, los más cercanos al camino, etc., y producir un **sesgo** en los datos tomados, además de afectar a la independencia de las muestras (Fig. 5 D-F).

Una forma sencilla de tomar muestras representativas es hacerlo de un modo **regular** o **sistemático** (Fig. 5 A), es decir, de acuerdo con alguna regla establecida de antemano. Eso no será recomendable si se sospecha que puede coincidir con una regularidad en el fenómeno de estudio.

Es más recomendable tomar las muestras **al azar**, es decir, de modo que cada unidad de muestreo tenga las mismas posibilidades de formar parte de una muestra que cualquier otra unidad. Para ello debes **aleatorizar** el muestreo. Eso requiere el uso de una tabla de números aleatorios (Apéndice II). La población a estudiar puede dividirse en unidades a las que se asigna un número. Las unidades estudiadas se deciden utilizando la tabla de números aleatorios (Fig. 5 B).

La principal misión de la aleatorización es evitar que el investigador realice decisiones subjetivas, consciente o inconscientemente, que puedan afectar a la representatividad de las muestras tomadas. Pero eso no elimina todos los problemas potenciales. Por ejemplo, por azar todas las muestras podrían agruparse en una esquina de la población, la más oscura, o pobre, etc. Por eso es importante asegurarse de que existe una **dispersión** adecuada de las observaciones. Ello es especialmente importante cuando existe alguna estructura en la población y es conocida o sospechada por el investigador (variaciones con la altitud, la pendiente, el microhábitat, zonas con diferente dificultad de acceso, etc.). Puede evitarse que todas las muestras caigan en una zona dada mediante un muestreo **aleatorio estratificado**. En este caso, se divide la población en zonas homogéneas, o **estratos**, respecto al factor que se sospecha o se sabe que causa diferencias dentro de la población y las muestras a tomar se reparten proporcionalmente entre esas zonas. Dentro de cada zona las muestras se toman al azar (Fig. 5 C).

En ocasiones, existen varios niveles de selección de muestras. Esto ocurre, por ejemplo, cuando las unidades de muestreo requeridas son muy grandes. En esos casos debe realizarse un **submuestreo** de las mismas. Ello consiste en subdividir la unidad de muestreo en elementos de menor tamaño, que son los estudiados. En base a esa submuestra de elementos se estima el valor de la variable de estudio para el total de la unidad de muestreo.

A) Sistemático



B) Aleatorio simple



C) Aleatorio estratificado



D) Segregación simple



E) Segregación agrupada



F) Sin replicación



Fig. 5. Tipos de muestreo en una colonia de aves. Los individuos seleccionados se representan en blanco. A) Muestreo sistemático. Se ha tomado sistemáticamente un individuo de cada dos. B) Muestreo aleatorio. C) Muestreo estratificado en una colonia en la cual existe una diferencia (indicada por la línea discontinua) entre los lados izquierdo y derecho. D) Segregación simple; se han tomado todos los individuos del lado derecho. E) Segregación agrupada; igual que en D) pero con una diferencia en la población (indicada por la línea discontinua). F) Ausencia de replicación; se ha tomado un solo individuo. Sólo los sistemas A-C son válidos; los sistemas D-F son inaceptables.

4. TOMA DE MUESTRAS: TAMAÑO DE LA UNIDAD DE MUESTREO

En algunos casos, el tamaño de la unidad de muestreo no plantea ningún problema. Se tratará simplemente de individuos, o parejas, etc. En otros casos, la pregunta a resolver requerirá la medida de variables, como vegetación, densidad de alimento, etc., que no pueden evaluarse de modo tan simple mediante el mero recuento de individuos u objetos. En esos casos debes acudir a algún tipo de muestreo como el uso de cuadrados, estimaciones de cobertura vegetal, etc. que requieren la especificación de un tamaño para cada unidad de muestreo.

El tamaño de la unidad de muestreo debe ser uniforme. Existirá variación inevitable cuando se trata de individuos, manchas de hábitat, etc., pero cuando dicho tamaño puede ser controlado por el observador, lo mejor es tomar unidades de muestreo (cuadrados, transectos, etc.) del mismo tamaño (o duración).

El tamaño de la unidad de muestreo debe ser adecuado a los tamaños, densidades y distribuciones espaciales de los organismos que pretendes estudiar. Por ejemplo, las distribuciones agregadas de muchos organismos pueden conducir a sesgos en el muestreo, dado que impiden un muestreo aleatorio de los mismos. En unas muestras habrá muchos individuos mientras en otras no habrá ninguno. El tamaño de la unidad de muestreo debe planearse para lograr que la distribución de los organismos estudiados sea aleatoria. La forma de hacerlo puede encontrarse en los libros especializados sobre diseño de muestreo.

También deben tenerse en cuenta los factores prácticos, como el esfuerzo de muestreo. En general, debe tomarse la unidad de muestreo más pequeña que proporcione una idea representativa de la población, para ahorrar esfuerzo. Es mejor invertir el esfuerzo en recoger más muestras que en pocas muestras muy grandes.

4. TOMA DE MUESTRAS: EFICACIA, EXACTITUD Y PRECISIÓN

El método de medida o de muestreo utilizado es **eficaz** si realmente mide lo que se supone que tiene que medir. Esto parece de perogrullo, pero muchas veces uno cree que está midiendo una cosa y no es así. Por ejemplo, el tamaño de un ave puede ser una medida muy mala de su edad. O uno puede usar indicios como indicación de la presencia de una especie difícil de avistar. Si los indicios, por ejemplo excrementos, son difíciles de asignar a la especie en cuestión el método de muestreo será poco eficaz, pues no permite asegurar una relación fiable entre el indicio y la presencia de la especie.

La **exactitud** de una medida es su proximidad al valor real. Si los datos se desvían de modo sistemático de dicho valor, se dice que están **sesgados**. Por un lado, la exactitud viene determinada por las posibilidades del aparato de medida o del sistema de muestreo empleado. Por otro lado, al igual que con el número o el tamaño de las muestras, la exactitud con que deben hacerse las medidas es una cuestión de esfuerzo. La realización de medidas más exactas requerirá más esfuerzo y eso puede limitar el número de medidas realizadas. La exactitud de las medidas dependerá de la variación existente en la variable a medir y cuáles son las diferencias que se esperan encontrar entre grupos. Si las diferencias entre grupos son del orden de decenas, carece de sentido medir las variables con tres decimales (a no ser que sea tan sencillo que no suponga ningún problema).

La **precisión** de una serie de medidas es su proximidad al mismo valor, si las medidas se repitiesen varias veces. Depende del aparato de medida y de la pericia del investigador. Supón que quieres contar el número de parejas nidificantes en una colonia de aves y desarrollas un sistema de muestreo para no tener que contar todas las parejas. Pero imagina que decides repetir ese conteo y obtienes un valor muy diferente. En ese caso, el sistema empleado es muy poco preciso, pues produce resultados muy dispares incluso cuando lo realiza el mismo observador.

Las medidas pueden ser muy precisas, pero poco exactas, cuando existe algún sesgo sistemático en las mediciones (Fig. 6 A). Y pueden ser muy exactas, pero poco precisas, cuando existe algún error aleatorio en las mediciones (Fig. 6 B).

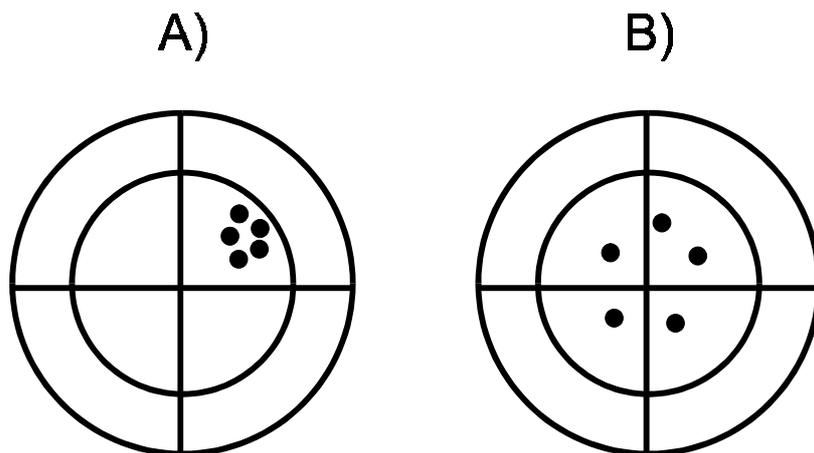


Fig. 6. Exactitud y precisión en las medidas, ilustrado con disparos sobre una diana. En A) los disparos son precisos -todos están muy cercanos entre sí- pero sesgados, pues se desvían sistemáticamente hacia arriba y a la derecha del centro de la diana (el valor real). En B) los disparos son poco precisos -están bastante separados entre sí-, pero son bastante exactos, pues se congregan alrededor del centro de la diana. Naturalmente, uno puede obtener también resultados poco precisos y sesgados (no representados en la figura), con lo cual el problema será doble.

4. TOMA DE MUESTRAS: METICULOSIDAD Y CONSISTENCIA

Independientemente de la exactitud o precisión de las medidas, la toma de datos ha de ser lo más **meticulosa** posible. Eso no depende de los aparatos utilizados, sino de tí mismo. Una recogida de datos descuidada no conducirá a nada positivo. Puedes aplicar toda la estadística que quieras, pero si los datos se recogieron de modo poco riguroso las conclusiones del estudio serán dudosas. La meticulosidad requiere adquirir cierta autodisciplina cuando se toman los datos. Esa toma de datos puede ser muy laboriosa y requerir mucho tiempo y buenas dosis de concentración. Si uno intenta emplear minutos en una toma de datos que requiere varias horas, está claro que la calidad de los datos será mala. Por eso, es importante contar con la motivación adecuada cuando se sale al campo. Otro modo de evitar una toma de datos descuidada es preparar con cuidado los instrumentos necesarios, antes de salir al campo. Por ejemplo, es útil contar con una hoja en la que figuren las variables a registrar, dispuestas en columnas, y con una serie de casillas en blanco donde simplemente se puedan introducir los datos. Esas hojas de datos “prefabricadas” facilitan tanto la toma de la información como su análisis posterior.

Otro aspecto importante es la **consistencia** en la toma de los datos. Uno debe desarrollar un protocolo riguroso de toma de datos y seguirlo al pie de la letra. Por ejemplo, si uno está estudiando la nidificación en una colonia de aves, tendrá que decidir qué considera como un nido ocupado, un nido vacío, un pollo grande, un pollo pequeño, etc. Son decisiones en parte subjetivas y si lo que un día se consideraba un nido ocupado ahora se considera vacío, en base a la misma evidencia, esa falta de consistencia hará inútil todo el trabajo. Lo mismo ocurre si los métodos de muestreo cambian de año en año, para un mismo sitio, o se utilizan métodos diferentes en distintos lugares.

5. PLANIFICANDO EL TRABAJO: PASOS A SEGUIR

1. Uno puede pasarse la vida saliendo al campo y saber mucha historia natural sin ser capaz de articular ninguna pregunta interesante. Una combinación de observación y teoría es indispensable para educar la curiosidad. ¡Lee sobre Ornitología!
2. Define tu pregunta de modo que pueda contrastarse con observaciones. Especifica lo más claramente posible los objetivos del trabajo de campo y la hipótesis a contrastar. Tus resultados serán tan coherentes y comprensibles como tu planteamiento inicial del problema. Ten siempre en cuenta las explicaciones alternativas.
3. Documentate sobre lo que ya se conoce al respecto y sobre cómo se ha respondido la cuestión en otros casos (mediante observaciones, mediante experimentos, mediante una combinación de ambos). Contacta con algún especialista si necesitas consejo; aunque hay gente borde en todas partes, la mayoría de los especialistas son seres humanos bastante tratables.
4. Determina si realizarás sólo observaciones o si utilizarás experimentos. Ello definirá las conclusiones que pueden extraerse de tu estudio. Define con claridad las variables a estudiar y los factores experimentales a controlar. Recuerda que no todo lo que puede medirse debe ser medido. Tomar datos innecesarios es tan malo como no tomar los datos necesarios.
5. Define la unidad de muestreo y el método adecuado para recoger las muestras. Verifica que tu sistema de muestreo está registrando lo que se supone que quieres medir y con la misma eficiencia en todas las condiciones en que tiene que realizarse el muestreo.
6. Escoge el área de estudio y fija el tamaño de muestra y la frecuencia de recogida de datos en función del esfuerzo requerido y de la variabilidad que presenta el fenómeno a estudiar. Si el esfuerzo mínimo para llegar a alguna conclusión útil excede tus capacidades, es mejor no realizar el estudio que tomar datos inservibles.
7. Planifica la toma de datos de modo que la replicación sea adecuada. Si realizas experimentos, utiliza un tamaño de muestra idéntico en cada combinación de las variables o factores a controlar.
8. Asegúrate de que las muestras son representativas de la población estudiada, mediante un muestreo aleatorio. Tomar las muestras en lugares “representativos” o “típicos” no es hacer un muestreo aleatorio. Si es necesario, subdivide el área de estudio en secciones homogéneas y toma muestras aleatorias en cada una de ellas.
9. Si vas a realizar experimentos, establece con cuidado los tratamientos e incluye siempre un control. El efecto de un factor sólo puede establecerse mediante la comparación con un control en el que dicho factor no se haya presente.
10. Piensa en el tipo de tests estadísticos que tendrás que utilizar para analizar los datos, antes de recogerlos.

5. PLANIFICANDO EL TRABAJO: ERRORES A EVITAR

1. **Creer que “todo es interesante”.** Los que opinan que “todo es interesante” no necesitan documentarse antes de un estudio. Es una excusa para no leer y para no hacer una autocrítica de las propias ideas. ¡Y una buena receta para resultados muy poco interesantes!
2. **Invertir el orden lógico en un estudio.** Mucha gente recoge sus datos y luego se pregunta qué puede sacar de ellos. La secuencia lógica de acción debería ser justo la contraria; pensar primero en el problema, especificar las hipótesis y finalmente recoger los datos.
3. **Tratar de medir todo lo posible.** Revela la falta de ideas claras sobre lo que se quiere hacer. Si se tienen objetivos claros se medirán las variables necesarias. Medirlo todo supone, casi con seguridad, medirlo mal.
4. **Ignorar la variación entre poblaciones.** A menos que el interés del estudio se centre en una población, debe procurarse siempre la toma de datos al menos en dos poblaciones. ¡Es sorprendente cómo varían los fenómenos entre poblaciones! El estudio de una sola población puede hacer que te formes una idea completamente falsa de lo que realmente ocurre.
5. **Falta de objetividad.** De nada sirve establecer un sistema de muestreo si luego uno no se atiene a sus propias indicaciones. Violar las propias reglas ante un cuadrado poco apetecible, ante una evidencia no fiable, etc. es introducir subjetividad en el muestreo.
6. **Cambiar el modo de muestreo a lo largo de un estudio.** Eso supone que los datos recogidos de uno y otro modo no podrán compararse.
7. **Ignorar el análisis de los datos hasta que es demasiado tarde.** La Estadística es una píldora difícil de tragar. Aplazar las decisiones sobre el análisis de los datos hasta que se han tomado puede hacer todo el trabajo inútil.
8. **Dejar el trabajo a medias.** Algunos ornitólogos guardan en los cajones de su mesa esos datos que se molestaron en coger, pero que nunca llegaron a analizar, o si lo hicieron, que nunca escribieron en forma de artículo. Cuando emprendes un trabajo, sé consistente y llévalo a sus últimas consecuencias; recoger información para sepultarla en un cajón, en lugar de darla a conocer, es dejar el trabajo a medias.

6. LOS AFICIONADOS Y LA ORNITOLOGÍA “SERIA”: COMPLEMENTARIEDAD

A pesar de lo que opinan algunos, la Ornitología, como ciencia, no es sólo para los profesionales. Naturalmente, existen muchos proyectos inabordables para un aficionado por su complejidad técnica y su coste económico, la dedicación que exigen y otra serie de factores. Pero no es menos cierto que hay proyectos accesibles a los aficionados pero vedados a los ornitólogos profesionales. Como esto puede sonar paradójico, voy a intentar razonarlo.

La Ornitología, como cualquier otra ciencia, avanza mediante una acumulación de conocimientos. Imagina el desarrollo histórico de la Ornitología en cualquier país del mundo. Un primer paso lógico es conseguir una idea de la composición de aves de dicho país. A partir de ahí se puede elaborar el estatus de cada especie, su abundancia o sus preferencias de hábitat. Llegados a cierto punto, esa actividad conduce a un conocimiento más o menos razonable de la avifauna y los esfuerzos de los científicos se concentran en otros campos donde el conocimiento es menor (migración, comportamiento, éxito reproductor, etc.). Ciertamente, la composición de especies, su estatus y su abundancia no permanecen constantes en el tiempo. Pero los científicos profesionales no pueden dedicar toda su vida a esa tarea de continua actualización, por tres razones. La primera es que nunca habrá suficientes profesionales como para poder elaborar, en un tiempo razonable, un mero atlas de aves a nivel estatal. La segunda es que, al ser algo dinámico, esa labor es eterna. Los científicos nunca darían el siguiente paso del conocimiento ornitológico si se empeñasen en finalizar antes algo imposible de acabar. Por último, los científicos profesionales están vinculados a centros de investigación, como la universidad o el CSIC en España, que ejercen una serie de presiones sobre la calidad de la actividad investigadora y limita los campos a que un profesional puede dedicarse. Si en 1900 alguien podía considerarse un ornitólogo académico respetable dedicándose a la actividad descriptiva, ello es impensable en la actualidad.

Los aficionados no tienen ese problema. Nadie les va a exigir un rendimiento investigador. No cuentan con excesivos medios ni tampoco con más posibilidades que las que permite su tiempo libre. Pero ello les permite acumular gran cantidad de información básica. Necesariamente, la labor de “inventariado” necesitará de la participación de aficionados. Un ejemplo es el *Common Bird Census* del Reino Unido e iniciativas similares en otros países. Se basan en la colaboración estrecha entre profesionales y aficionados y proporcionan datos de gran valor que no podrían obtenerse sin dicha colaboración.

6. LOS AFICIONADOS Y LA ORNITOLOGÍA “SERIA”: PROYECTOS

Además de colaborar en proyectos de gran alcance, que serían inviables sin un gran esfuerzo humano, los aficionados también pueden embarcarse en proyectos más puntuales y que aportan algo a la Ornitología, *sin falta de reinventar la rueda ni de trabajar a la sombra de los profesionales*. La falta de medios y de financiación puede verse compensada por la posibilidad de hacer trabajos a más largo plazo de lo que pueden permitirse muchos profesionales. La clave está en organizar la toma de datos, más que en la disponibilidad de gran cantidad de recursos materiales.

A continuación se presenta una lista de temas que pueden dar lugar a proyectos accesibles a los aficionados.

Proyectos para el estudio de especies

- Morfometría: dimorfismo sexual, crecimiento, asimetría fluctuante
- Muda
- Distribución, abundancia, selección de hábitat
- Alimentación
- Comportamiento: territorialidad, reproducción y selección sexual, agregación
- Éxito reproductor y coste de la reproducción

Estos proyectos no exigen más que observaciones planificadas, o la colocación de cajas-nido. Los estudios de morfometría, muda y alimentación pueden realizarse dentro de un grupo de anillamiento.

Proyectos para el estudio de poblaciones

- Demografía: metapoblaciones, funciones de incidencia
- Competencia intraespecífica y reparto de nicho
- Variaciones de abundancia

Son estudios descriptivos que requieren la observación a lo largo de varios años. Puede introducirse un componente experimental en la competencia mediante uso de cajas-nido.

Proyectos para el estudio de comunidades

- Riqueza específica
- Ecología urbana
- Macroecología: rareza
- Competencia interespecífica: desplazamiento de caracteres
- Comunidades en hábitats fragmentados: relación especies-área, subconjuntos anidados

Son estudios descriptivos que sólo requieren la planificación de los lugares de observación. También pueden aprovecharse experimentos naturales.

APÉNDICE I. REVISTAS ORNITOLÓGICAS

Puede encontrarse una lista de revistas ornitológicas en la siguiente dirección de Internet:

<http://www.nmnh.si.edu/BIRDNET/period.html>

Aunque no es exhaustiva, en muchos casos permite el acceso a los números recientes de las revistas. A continuación se proporciona una lista parcial de revistas ornitológicas que pueden resultar útiles como fuentes de documentación:

<i>Acta Ornithologica</i>	<i>Ecological Applications</i>
<i>Alauda</i>	<i>Ecology</i>
<i>Animal Behaviour</i>	<i>The Emu</i>
<i>Animal Conservation</i>	<i>The Ibis</i>
<i>Annales Zoologici Fennici</i>	<i>Irish Birds</i>
<i>Annual Review of Ecology and Systematics</i>	<i>Journal für Ornithologie</i>
<i>Ardea</i>	<i>Journal of Animal Ecology</i>
<i>Ardeola</i>	<i>Journal of Applied Ecology</i>
<i>The Auk</i>	<i>Journal of Avian Biology</i>
<i>AVES Contact</i>	<i>Journal of Field Ornithology</i>
<i>Avian Ecology and Behaviour</i>	<i>Journal of Raptor Research</i>
<i>Avocetta</i>	<i>Journal of Wildlife Management</i>
<i>Behavioral Ecology</i>	<i>Limosa</i>
<i>Behavioral Ecology and Sociobiology</i>	<i>Marine Ornithology</i>
<i>Behaviour</i>	<i>Il Meril</i>
<i>Biodiversity and Conservation</i>	<i>Oecologia</i>
<i>Biological Conservation</i>	<i>Oikos</i>
<i>Bird Conservation</i>	<i>Ornis</i>
<i>Bird Conservation International</i>	<i>Ornis Fennica</i>
<i>Bird Study</i>	<i>Ornis Scandinavica</i>
<i>Buteo</i>	<i>Ornis Svecica</i>
<i>Butlletí del Grup Catalá d'Anellament</i>	<i>Ornithological Monographs</i>
<i>Canadian Journal of Zoology</i>	<i>Rivista Italiana di Ornithologia</i>
<i>The Condor</i>	<i>Seabird</i>
<i>Conservation Biology</i>	<i>Studies in Avian Biology</i>
<i>Current Ornithology</i>	<i>The Wilson Bulletin</i>
<i>Doñana. Acta Vertebrata</i>	<i>Trends in Ecology and Evolution</i>
<i>Ecography</i>	<i>Waterbirds</i>

APÉNDICE II. LIBROS ORNITOLÓGICOS

Cualquier aficionado que se precie debe tener una serie de libros ornitológicos en su biblioteca personal, más allá de las guías tradicionales de identificación. La lista que viene a continuación es mi selección personal, muy sesgada hacia temas ecológicos. Ya sabes, ¡menos salir de copas y a ahorrar para comprar libros!

- Alerstam, T. (1990). *Bird migration*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Barnard, C. J.; Thompson, D. B. A. (1985). *Gulls and plovers. The ecology and behaviour of mixed-species feeding groups*. Croom Helm, Londres.
- Bennett, P.; Owens, I. (2002). *Evolutionary ecology of birds: life histories, mating systems and extinction*. Oxford University Press, Oxford.
- Burton, J. F. (1995). *Birds and climate change*. Christopher Helm, Londres.
- Cody, M. L. (ed.) (1985). *Habitat selection in birds*. Academic Press, San Diego, CA.
- Cramp, S. (ed.) (1997). *Birds of the western Palearctic: handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa*. Oxford University Press, Oxford.
- Furness, R. W.; Greenwood, J. J. D. (eds.) (1993). *Birds as monitors of environmental change*. Chapman & Hall, Londres.
- Furness, R. W.; Monaghan, P. (1987). *Seabird ecology*. Blackie, Glasgow.
- Gaston, K. J.; Blackburn, T. (2000). *Pattern and process in macroecology*. Blackwell Science, Oxford.
- Gill, F. B. (1994). *Ornithology*. 2ª ed. W. H. Freeman.
- Morrison, M. L.; Ralph, C. J.; Verner, J.; Jehl, J. R. (eds.) (1990). *Avian foraging: theory, methodology, and applications*. Cooper OS.
- Newton, I. (1998). *Population limitation in birds*. Academic Press, San Diego, CA.
- Newton, I. (2003). *Speciation and biogeography of birds*. Academic Press, San Diego, CA.
- Snow, B.; Snow, D. (1988). *Birds and berries*. T & AD Poyser, Calton.
- Tucker, G. M.; Heath, M. F.; Tomialojc, L.; Grimmett, R. F. A. (1995). *Birds in Europe. Their conservation status*. Birdlife International, Cambridge.
- Tucker, G. M.; Evans, M. I. (1997). *Habitats for birds in Europe. A conservation strategy for the wider environment*. Birdlife International, Cambridge.
- Wiens, J. A. (1989). *The ecology of bird communities. 1. Foundations and patterns*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wiens, J. A. (1989). *The ecology of bird communities. 2. Processes and variations*. Cambridge University Press, Cambridge.

APÉNDICE III. TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
Grupo 1	41530	97900	58557	73058	28651
	06574	10732	62978	09675	33356
	86198	54445	05595	08445	23506
	03381	62043	59755	55082	69309
	44452	98628	96650	70454	29352
Grupo 2	79317	34204	19936	01927	44427
	92933	55336	05370	54991	41203
	18645	24577	87864	94257	30397
	48784	64416	71630	66256	17507
	91095	31323	54772	12202	84280

Esta tabla de números aleatorios está tomada de Sutherland (1996). Uno debe elegir un punto diferente de comienzo en la tabla cada vez que la usa. Eso puede hacerse señalando la tabla con los ojos cerrados, después de que un amigo la ha girado. También puede hacerse usando un dado y tirándolo cuatro veces para obtener el bloque, la columna dentro del bloque, el grupo y la fila dentro del grupo.

Para elegir las unidades de muestreo, se numeran las mismas y se eligen aquellas cuyo número coincide con los presentes en la tabla a partir del punto de entrada. Para elegir muestras entre 1 y 10 se leen los números de uno en uno; para elegir muestras entre 1 y 100 se leen los números en pares. Si se elige un número que ya ha sido escogido, se ignora y se pasa al siguiente hasta obtener un número aún no asignado.

En los libros de Estadística y de diseño experimental encontrarás tablas más grandes para su uso en la planificación de trabajos de campo.

8. BIBLIOGRAFÍA

A continuación se proporciona una pequeña selección de libros y artículos que pueden proporcionar ideas para trabajos de campo, así como otros donde se explica con mucho más detalle la planificación de trabajos y la toma de datos en el campo.

Para más detalles, o cualquier sugerencia o crítica a este manual, puedes ponerte en contacto conmigo en la siguiente dirección:

Correo electrónico: marcos.mendez@botan.su.se

Método científico

Chalmers, A. F. (1994). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo XXI*, Madrid.

Ford, E. D. (2000). *Scientific method for ecological research*. Cambridge University Press, Cambridge.

Ecología

Begon, M.; Harper, J. L.; Townsend, C. R. (1988). *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. Omega, Barcelona.

Carranza, J. (ed.) (1994). *Etología. Introducción a la ciencia del comportamiento*. Universidad de Extremadura, Cáceres.

Toma de datos

Bennet, D. P.; Humphries, D. A. (1978). *Ecología de campo*. Blume, Madrid.

Bibby, C. J.; Burgess, N. D.; Hill, D. A. (1992). *Bird census techniques*. Academic Press, Londres.

Ceballos, P.; Molina, J.; Franco, A.; Palacios, B. (1984). *Manual del anillador*. ICONA, Madrid.

Furness, R. W.; Greenwood, J. J. D. (eds.) (1993). *Birds as monitors of environmental change*. Chapman & Hall, Londres.

Gilbert, G.; Gibbons, D. W.; Evans, J. (1998) *Bird monitoring methods. A manual of techniques for key UK species*. RSPB, The Lodge.

Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187-211.

James, F. C.; McCulloch, C. E. (1985). Data analysis and the design of experiments in ornithology. *Current Ornithology* 2: 1-63.

Kamil, A. C. (1988). Experimental design in ornithology. *Current Ornithology* 5: 313-346.

Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper Collins, Nueva York.

Martin, P.; Bateson, P. (1986). *Measuring behaviour. An introductory guide*. Cambridge University Press, Cambridge. (Traducción española: *La medición del comportamiento*. Alianza Universidad, Madrid.)

- Sutherland, W. J. (ed.) (1996). *Ecological census techniques. A handbook*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tellería, J. L. (1986). *Manual para el censo de los vertebrados terrestres*. Raices, Madrid.
- Verner, J. (1985). Assessment of counting techniques. *Current Ornithology* 2: 247-302.
- Walsh, P. M.; Halley, D. J.; Harris, M. P.; del Nevo, A.; Sim, I. M. W.; Tasker, M. L. (1995). *Seabird monitoring handbook for Britain and Ireland*. JNCC/RSPB/ITE/Seabird Group, Peterborough.