

LA LUCHA BIOLOGICA E INTEGRADA CONTRA LAS PLAGAS FORESTALES

Por J. M. FRANZ

Del Institut für Biologische Schädlingsbekämpfung, Biologische Bundesanstalt für Landund Forstwirtschaft, Darmstadt, Alemania.

El tráfico internacional y el intercambio comercial han hecho aumentar el peligro de que se introduzcan en un país plagas de otras partes del mundo, que vengan a sumarse a las autóctonas, produciendo brotes de grandes proporciones, en las numerosas plantaciones puras, hechas recientemente en forma precipitada. Por tal motivo y, a pesar de las medidas preventivas (cuarentena) y de las muchas técnicas modernas, silvícolas y químicas, empleadas para protegerlas, se encuentran en una situación totalmente insatisfactoria. Para poder evitar este nuevo peligro que amenaza a las plantaciones, es preciso estudiar las posibilidades que ofrecen los medios biológicos.

Posibilidad de dominar las plagas forestales valiéndose de medios biológicos

En general, los medios biológicos se pueden definir como los enemigos naturales que emplea el hombre para reducir (o regular) las poblaciones de insectos dañinos. Al igual que los silvícolas, pertenecen a la ecología aplicada. Los bosques, tanto naturales como artificiales, crean un medio relativamente estable y permanente, permitiendo que se forme una compleja red de factores bióticos reguladores que, cuando no basta, puede completarse mediante la introducción de especies benéficas, ya que dispondrán de tiempo suficiente para surtir todo su efecto. Para combatir las plagas, los forestales prefieren los medios biológicos por su bajo costo en comparación con los químicos, que exigen la repetición del tratamiento varias veces. Como el valor del incremento anual de la producción de madera es pequeño, para combatir las plagas se precisan medios más económicos. Afortunadamente, los bosques sanos pueden tolerar, por lo general, daños relativamente grandes, producidos por los insectos. El hecho de que un número relativamente grande de insectos dañinos puedan ser tolerados hace posible la subsistencia de suficientes enemigos naturales que se alimentan de dichos insectos dañinos. A los ingenieros forestales les interesa, sobre todo, emplear un control económico y, en la medida de lo posible, autónomo, más que reducir mucho el número de insectos dañinos o erradicarlos. En las plagas forestales se ha estu-

diado a fondo la dinámica de las poblaciones, gracias a que los ecosistemas del bosque son muy estables y, por ende, ofrecen condiciones ideales para realizar investigaciones cuyos resultados se puedan aplicar directamente a la solución de problemas concretos (Waters, 1969).

También, desde el punto de vista ecológico, es fácil comprender que los medios químicos de lucha contra las plagas forestales se consideren como instrumentos de emergencia ya que, a pesar de los progresos alcanzados en materia de aspersión aérea, raras veces se pueden evitar perturbaciones drásticas de la composición natural de la fauna. Las consecuencias de la aplicación, en gran escala, de plaguicidas de acción inespecífica se agravan, en un momento en que la determinación del valor de los bosques va dependiendo más y más de sus funciones sociales y de otras de carácter más general que de la producción de madera. Con el aumento de la población humana y, por ende, de la necesidad de lugares de esparcimiento, han ido adquiriendo mayor importancia, desde el punto de vista forestal, aspectos tales como la conservación de la Naturaleza y, especialmente, de las aguas y de la capa superior del suelo. La aplicación de biocidas químicos puede poner en peligro la estabilidad del medio. Es imposible expresar en términos pecuniarios el valor que tiene evitar la contaminación de algunas áreas y mantener otras intactas.

La posibilidad de que aparezcan cepas resistentes a los insecticidas puede hacer inútil la repetición del tratamiento con sustancias químicas que, además, puede afectar al bien público. Recientemente, se descubrió que *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp., en Norteamérica, está adquiriendo mayor tolerancia al DDT (Randall, 1963), lo que demuestra a las claras cuán peligrosas son las consecuencias de la aplicación repetida de sustancias químicas en un mismo lugar. Los forestales deben recordar que la resistencia a los insecticidas no sólo la adquieren las plagas agrícolas y que, por lo mismo, es prudente no abusar de una de las armas más poderosas con que se cuenta empleándola para combatir las forestales. Es preciso que estudien la posibilidad de recurrir oportunamente a otros medios, para evitar la aplicación de estas medidas radicales y de emergencia.

Técnicas actuales para combatir las plagas forestales con medios biológicos

A continuación, se resumen las técnicas que se han venido empleando en la lucha biológica e integrada contra las plagas forestales y se dan a conocer también algunas nuevas cuya eficacia no se ha comprobado aún en la práctica. Por diversas razones, se tratará sobre todo de los medios biológicos de lucha contra las plagas. Para tratar el tema de modo más completo, se recomienda consultar los siguientes artículos y obras: Balch, 1960; Beirne, 1962; DeBach, 1964; FAO, 1966; Franz, 1961a y 1961b, 1964; McGugan & Coppel, 1962; Sweetman, 1958; Turnbull & Chant, 1961; Voûte, 1964.

IMPORTACIÓN DE ARTRÓPODOS Y VERTEBRADOS ENTOMÓFAGOS

La técnica clásica, que consiste en importar los enemigos naturales de las plagas exóticas trayéndolos de su país de origen, es bien conocida. Se basa en la suposición de que aquéllos desempeñan un papel de vital importancia en la regulación natural de éstas y de que los brotes suelen obedecer, precisamente, a la ausencia de los factores limitantes que han quedado atrás (Balch, 1960). Carece de utilidad práctica el examinar, en el presente trabajo, las teorías fundamentales sobre los principios en que se basa la regulación de las plagas por medio de sus enemigos naturales. A pesar de que algunos agentes bióticos revelan una notable tendencia a actuar en función de la densidad, otros no lo hacen o, por lo menos, no en grado suficiente. Así se explica que sólo en algunos de los muchos casos en que se han introducido parásitos o enemigos de los insectos dañinos exóticos, se hayan obtenidos buenos resultados y haya sido posible combatirlos económicamente, mientras que en algunos otros dichos resultados han sido parciales y, en la mayoría, por último, prácticamente nulos.

Por desgracia, hay una gran diferencia entre las pruebas uniformes a que se someten los insectidas que son uniformes también y las especies entomófagas exóticas, en las cuales casi todo es variable, tanto sus características, como su relación con la densidad, su capacidad de búsqueda, su fecundidad y sus exigencias ecológicas, como las del medio en el lugar de la prueba. Cada uno de los factores mencionados tiene su importancia y, por tal motivo, nunca se pueden repetir las pruebas en condiciones idénticas.

Después de examinar los criterios que rigen la introducción de especies entomófagas, se tratará de los diversos aspectos de la planificación de la lucha contra las plagas. Baste insistir, por el momento, en la diferencia fundamental e insalvable que hay entre la técnica «LD₅₀» y el manejo de las poblaciones, en el cual sólo se pueden acumular probabilidades de éxito si se pueden elegir variables. Por mucho que se refinen las técnicas y se inventen nuevos trucos, siempre ten-

drán estos sus limitaciones, debido a que los organismos vivos cambian constantemente, por su naturaleza misma. En lo que respecta a la introducción de especies entomófagas, se ha perfeccionado de diversas maneras la técnica fundamental. Hace unos ochenta años, Koebele, en California, demostró por primera vez que era económicamente aprovechable. Consiste en importar los enemigos que tiene la plaga en la región faunística de donde procede.

La recolección de especies parásitas y entomófagas se hacía, en un comienzo, en el país de donde procedía la plaga y se limitaba a las más notorias. Ultimamente, se ha perfeccionado la técnica, ampliándose el área de recolección y, frecuentemente, abarcando también:

- las menos notorias y abundantes, que son más difíciles de encontrar;
- los enemigos naturales de toda el área de dispersión de la plaga;
- los enemigos de las especies afines;
- aquellos que, después de atacar a una plaga exótica, o sea, después de adaptarse a la misma, se exportan a la región faunística de donde procede dicha plaga («importación de enemigos adaptados»);
- los llevados de un lugar a otro, dentro de un mismo Continente.

Observaciones y ejemplos

a) El problema de elegir especies benéficas, para introducirlas en otra parte, es complejo y, por tal motivo, no se puede tratar a fondo en el presente trabajo. El método empleado corrientemente consistía en tomar todas las especies parásitas o entomófagas que era posible, siempre que no produjeran efectos secundarios dañinos y tuvieran preferencia por la plaga que se deseaba combatir. Así, por ejemplo, se llevaron de Europa al Canadá parásitos de *Diprion hercyniae* que, en Europa, ataca a *Picea excelsa*. Algunos proliferaron y fueron eficaces, cuando la densidad de población de la plaga era elevada, o sea, antes de que la epizootia viral la hiciera descender; otros lo hicieron después, dando mejores resultados cuando dicha densidad era menor (*Exenterus vellicatus* y *Palloxysta bohémica*). Era imposible prever el resultado de dicho experimento, a saber, la desaparición total y permanente de *Diprion hercyniae*, gracias a la actividad de ambos parásitos, escasos en Europa, sumada a la virosis (Bird y Elgee, 1957). La densidad de población de entomófagos en la Naturaleza, de por sí, constituye un dato insuficiente para medir su eficacia práctica. Es posible que sea pequeña debido a la competencia (Pschorn-Walcher y Zwölfer, 1968). La aparente escasez de algunas especies puede deberse a que su período de actividad es breve, a que su centro de dispersión se encuentra en otro lugar, o a que su hábitat está oculto como, por ejemplo, en la copa de los árboles. Se suele afirmar que una especie es escasa cuando, en realidad, se trata de que su actividad es nocturna.

Por ejemplo, el derodóntido *Laricobius erichsonii* se consideraba tan raro en Europa central que se publicaba cada vez que se capturaba un ejemplar. Actualmente, habiéndose descubierto que su período de actividad es muy breve y que, ecológicamente, está asociado a *Adelges piceae* (Franz, 1958), se pueden encontrar en gran cantidad, habiéndose enviado a América del Norte, donde se ha establecido. Se puede afirmar, en general, que cuando se conozcan mejor la conducta y las exigencias ecológicas de aquellos enemigos naturales que se importan para combatir las plagas, se podrán eliminar los elementos empíricos del método biológico. Hace poco se introdujeron en el Canadá dos parásitos de *Operophtera brumata* (Embree, 1965), procedentes de Europa, al igual que dicho insecto, que han demostrado su eficacia. Junto con el perfeccionamiento de los modelos de población de las plagas, su introducción puede servir de punto de partida para el pleno aprovechamiento de las posibilidades que, en teoría, ofrece la simulación y quizá facilite en el futuro una selección más racional de aquellos medios bióticos de lucha que tengan mayores probabilidades de éxito.

b) Las diferencias que se observaban entre distintas poblaciones de una misma especie, o sea, entre razas biológicamente diferentes de enemigos naturales, permitían en un principio elegir las más adaptadas al nuevo nicho ecológico (Simmonds, 1963), pero, actualmente, el mejor criterio para buscar agentes bióticos benéficos consiste en abarcar toda el área de dispersión, enviar muestras de parásitos o entomófagos a un solo laboratorio del lugar afectado por la plaga y hacer pruebas en el terreno para determinar su eficacia. La velocidad y el radio de acción de los medios de transporte en la actualidad, aunque son perjudiciales por contribuir a la propagación de las plagas, tienen la ventaja de facilitar el intercambio de organismos benéficos en todo el mundo. Se han perfeccionado nuevas técnicas para transportar con seguridad por vía aérea avispas parásitas muy pequeñas (Barlett, 1962).

Por tanto, los problemas técnicos de transporte han dejado de ser un factor limitante en la lucha biológica. El punto crítico es otro, a saber: la falta de entomólogos calificados que tengan formación ecológica, y de los fondos necesarios para contratar sus servicios por suficiente tiempo en un proyecto.

Hay muchas plagas naturales que atacan enormes extensiones boscosas en el mundo entero. Así, por ejemplo, *Pristiphora erichsoni*, *Lymantria dispar* y *Neodiprion sertifer*, plaga del pino, no se encuentran sólo en Europa, sino también en el extremo oriental de la región paleártica. En la actualidad, se siguen buscando parásitos de *Lymantria dispar* en el norte de la India, y de *Pristiphora erichsoni* y *Neodiprion sertifer*, en el Japón, país cuya rica fauna de enemigos naturales, nuevos en su mayoría, viene a sumarse a la de los Estados Unidos y el Canadá (Commonwealth

Institute of Biological Control [CIBC] Annual Reports).

Otro ejemplo de cómo se ha ampliado el radio de acción en la búsqueda de enemigos naturales es el proyecto del *Sirex* en Australia y Nueva Zelandia. Si bien es cierto que anteriormente se habían hecho trabajos útiles con parásitos procedentes del Reino Unido que lograron establecerse en Nueva Zelandia (Hanson, 1939), las exploraciones han aumentado mucho desde que *Sirex noctilio* se estableció en Australia. Se empezaron a hacer investigaciones sobre los parásitos de los sirícidos de las coníferas en varias partes del Hemisferio Norte, que incluyen a Europa, Pakistán, Japón y Norteamérica. Así, por ejemplo, se creó en el Reino Unido un grupo que se ocupa de Australia (F. Wilson) y coopera con el CIBC en lo relativo a otras regiones. Su objetivo es descubrir especies, o razas, de parásitos capaces de controlar con eficacia la población de *Sirex* del Hemisferio Sur (Taylor, 1967).

c) Durante muchos años se ha recurrido al empleo de parásitos y entomófagos que hacen presa de especies y géneros afines. Pimentel (1963), en su estudio, indica que posiblemente dicho procedimiento sea algo superior al clásico, por no haberse producido todavía una homeostasis ecológica y por tratarse de una nueva asociación entre el parásito o entomófago y la plaga. En todo caso, esta nueva fuente de insectos benéficos todavía no se ha aprovechado al máximo. Así, por ejemplo, en campañas recientes contra *Adelges piceae*, plaga europea que se ha extendido a varias regiones de América del Norte, se incluye la búsqueda en el Himalaya, el Japón y la Argentina, lugares donde sólo se encuentran adélgidos afines (CIBC, 1963) de entomófagos entre cuyas presas pueda hallarse incluida dicha plaga. Hasta la fecha, sólo se había logrado establecer en América del Norte entomófagos procedentes del lugar de origen de la plaga misma, habiéndose obtenido resultados limitados, probablemente debido a que la especie atacada de la América del Norte (*Abies*) es más susceptible que la de Europa (*A. pectinata*), (Balch, 1960) y a que la reacción del complejo entomófago a los brotes de la plaga depende, quizá imperfectamente, de su densidad (Eichhorn, 1969). Por lo demás, hay ejemplos clásicos del empleo de este método de lucha biológica, que sirven para demostrar que los enemigos nuevos no se pueden buscar a ciegas entre las especies afines, sino conociendo los datos ecológicos requeridos. Se puede encontrar un ejemplo de este tipo en la famosa obra de Taylor (1937) sobre el coleóptero que abre galerías en las hojas de la palma (*Promecotheca reichei*), que se combatió introduciendo parásitos de una especie afín del mismo género. Pimentel (1963), en su estudio, enumera otros 27 ejemplos.

d) «Importación de enemigos adaptados» es un neologismo empleado para designar una forma especial del empleo de insectos entomófagos polífagos. Si

un parásito o entomófago autóctono ataca con eficacia una plaga recién llegada del exterior, es probable que lo haga también en la región faunística de donde procede dicha plaga, cuando no hay en dicha región un enemigo autóctono eficaz. El autor no sabe de ningún caso en que la «importación de enemigos adaptados» haya dado buenos resultados en la lucha contra las plagas forestales. Está en vías de realización un proyecto contra *Rhyacionia buoliana* (Franz, 1968a), que ataca a los brotes de los pinos. Se trata de una plaga paleártica, introducida involuntariamente en otros Continentes. En América del Norte hay varios parásitos autóctonos que aceptan dicha especie rápidamente. Tres laboratorios en Alemania y uno en Polonia están esforzándose actualmente por criar dos himenópteros parásitos (*Itopectis conquisitor* y *Elachertus thymus*) que, al parecer, darán buenos resultados en Europa central, región faunística de donde procede la plaga. Zwölfer y Pschorn-Walcher, 1968, mencionan otras posibilidades y varias reacciones de los parásitos.

e) El traslado de enemigos naturales autóctonos de un lugar a otro, dentro de un mismo Continente, puede servir para acelerar su propagación natural, si ésta suele tardar mucho o tropieza con barreras naturales. En la región del Mediterráneo se están planificando algunos proyectos de este tipo como, por ejemplo, el que consiste en la búsqueda, dentro de la región, de los enemigos naturales de las orugas procesionarias del género *Thaumetopoea*, con el fin de introducirlos donde haga falta; la del traslado de parásitos de *Coleophora laricella* del este al oeste de los Estados Unidos; la de importación de *Agathis pumila*, braconídea procedente de Europa, al igual que la plaga mencionada, que ya se ha logrado establecer en Idaho, teniéndose conocimiento de que su eficacia aumenta cuando coexiste con la eulófida *Chrysocharis laricellae*, esperándose con mucho interés los resultados del experimento.

Otro proyecto es el transporte y colonización en Alemania, Italia y España, de hormigas forestales del grupo *Formica rufa*, que han demostrado su agresividad, a veces por lo menos, frente a varias orugas y diprionídeas de Europa, habiéndose logrado establecer en bosques muy susceptibles con repetidos brotes de dichas plagas, y en Italia la de traslado de colonias de hormigas (*Formica lugubris*) de los Alpes al centro y sur de los Apeninos, que constituye un ejemplo de las posibilidades técnicas del método (Pavan, 1961). Con el transcurso del tiempo se podrá determinar la eficacia de estas nuevas colonias en lo que respecta, primero, a favorecer el establecimiento de áfidos cuyas exudaciones azucaradas sirvan de alimento a las abejas y, segundo, a impedir que se produzcan nuevos brotes de dichas plagas. Aunque hay que tener cuidado de que no protejan a los áfidos dañinos, se puede obtener con certeza un beneficio secundario de interés, a saber, el aumento de la exudación azucarada de los áfidos relativamente inofensivos (*Lachnidae*)

en las coníferas, gracias al estímulo de las hormigas del grupo *Formica*, pudiendo elevarse al doble la producción de un tipo de miel forestal de gran valor (Wellenstein, 1960). Se trata de uno de los pocos casos en que, gracias a los efectos secundarios de la aplicación de medios biológicos, se obtiene un beneficio económico directo.

A la luz de la experiencia, se había podido demostrar en el Canadá (McLeod, 1962), los Estados Unidos (Clausen, 1956) y U.R.S.S. (Rudnev y Telenga, 1958), por ejemplo, que el traslado de un lugar a otro del Continente de parásitos o entomófagos autóctonos daba muy buenos resultados en la lucha contra las plagas. Como es lógico, hay posibilidades de este tipo en un gran Continente y, para descubrirlas, lo mejor es establecer una estrecha colaboración entre todos los especialistas del mismo. El caso más reciente de traslado de un lugar a otro del Continente de un vertebrado insectívoro, y el que se ha investigado más a fondo, es el de *Sorex cinereus cinereus*, llevado a Terranova (Canadá), en 1958, para acrecentar el número de enemigos naturales de *Pristiphora erichsoni*, plaga de *Larix* spp. A pesar de haber atacado los capullos del insecto menos de lo esperado, se logró un aumento neto de la limitación natural de la plaga (Buckner, 1966).

Para resumir lo dicho acerca de la nueva tendencia a importar artrópodos y vertebrados entomófagos, puede añadirse que su radio de acción se ha ampliado mucho desde 1888, fecha en que Koebele envió coleópteros (*Rodolia cardinalis*), por primera vez, de Australia a California. A pesar de que algunos autores sostienen que es posible eliminar los elementos empíricos de la lucha biológica y evitar el peligro que implican las importaciones múltiples, todos los especialistas están de acuerdo en la necesidad de investigar, en la forma más minuciosa posible, las cualidades de los organismos benéficos respectivos (Zwölfer, 1967). Por último, la única manera de proceder consiste en hacer la prueba, dado que las sucesivas introducciones de entomófagos y parásitos, al parecer, no surten un efecto tan grande como se esperaba (Hufaker & Kennett, 1969).

LOS MICROBIOS COMO ARMA DE LUCHA

El empleo de microorganismos patógenos se ha convertido en un importante medio biológico de lucha contra las plagas. Si bien es cierto que los primeros esfuerzos en este sentido se hicieron hace unos ochenta años, el progreso se ha debido, en gran parte, al mayor conocimiento que se tiene en la actualidad de agentes patógenos tales como los virus, bacterias, protozoos y hongos. En los últimos veinte años se han obtenido resultados económicos importantes utilizando principalmente virus y bacterias, que no es el caso enumerar aquí, contra las larvas de diprionídeas y lepidópteros. Al igual que en la sección precedente, que

trata de la importación, en la presente sólo se expondrán algunos puntos de vista nuevos acerca del empleo de microbios para combatir las plagas, que se refieren, en parte, a las nuevas técnicas y, en parte también, a los nuevos criterios. Como la aplicación de patógenos e insecticidas se hace en forma semejante, al principio se hablaba de «insecticidas microbianos», lo cual producía la impresión de que se trataba fundamentalmente de insecticidas más selectivos, e impedía ver las diferencias esenciales que hay entre ambos instrumentos de protección del bosque que, además de las técnicas, se pueden agrupar, como se indica a continuación, en relación con: *su aplicación y persistencia; sus vectores; su selectividad y seguridad; la resistencia de la plaga; la evaluación del índice de mortalidad.*

La entomopatología y el empleo de microbios para combatir las plagas son disciplinas que están evolucionando rápidamente; se recomienda consultar los artículos y las obras nuevas y completas que se indican a continuación: Burges & Hussey, 1970; Cameron, 1963; Franz, 1961a; Krieg, 1961; van der Laan, 1967; Maramorosch, 1968; Müller-Kögler, 1965; Steinhaus, 1963; Tanada, 1967.

Aplicación y persistencia.—La aplicación artificial de agentes patógenos, por pulverización o aspersión, se efectúa de manera muy semejante a la de los insecticidas. Se ha descubierto que la utilidad de los dispositivos, terrestres y aéreos, para rociar, nebulizar y espolvorear, depende de las circunstancias. Gracias a los estudios profundos que se han hecho, se ha podido descubrir la posibilidad de emplear petróleo, en vez de agua, como vehículo de las bacterias y de los virus (Smirnoff & Juneau, 1963) y la de mezclar ciertos insecticidas con preparados patógenos, sin que disminuya la eficacia de unos u otros (McEwen *et al.*, 1960; Jacques, 1963), pero hay que tener cuidado de que dichos agentes sean compatibles. Hace poco, se empleó también, con buenos resultados, el aparato de pulverización de volumen ultrarreducido, para aplicar, por ejemplo, el virus poliédrico que ataca a *Hemerocampa pseudotsugata*, en Oregón (Anónimo, 1969).

Se recomienda la aplicación artificial de patógenos cuando se prevé que su reproducción natural será insuficiente, en relación con el tiempo disponible, por ser la densidad de población de la plaga demasiado pequeña. Ha aumentado mucho el número de organismos patógenos conocidos que atacan a las plagas y se pueden producir en masa con el fin de emplearlos en escala comercial como, por ejemplo, *Bacillus popilliae* y *B. lentimorbus* e igualmente el hongo *Beauveria bassiana*, que han logrado despertar el interés de la industria en la producción de preparados útiles al forestal. El virus poliédrico y el de la granulosis, incluidos en sustancias protectoras resistentes, se han estado empleando en los bosques, en los últimos treinta años, siendo relativamente fácil producirlos, por

lo cual se recomienda también su empleo en los países en desarrollo. Para la cría e infección de las larvas con el fin de producir virus, no se necesitan aparatos costosos. Las suspensiones sin purificar revelaron gran eficacia en el terreno, cuando se emplearon para combatir una plaga de *Lymantria dispar* (Magnoles, 1968). Si se dispone de la suspensión de un virus conocido, a veces, es posible emplear otros insectos para la producción de los agentes patógenos. Así, por ejemplo, los virus poliédricos citoplasmáticos de *Thaumtopoea pityocampa* se pueden producir en *Arctia caja* (Sidor, 1965), y el microsporidio *Telohania pristiphora* de *Pristiphora erichsonii*, en larvas de *Malacosoma* (Smirnoff, 1968). Como se puede tratar una hectárea de superficie boscosa con el virus poliédrico producido por una o dos docenas de larvas adultas, el método resulta muy económico, pero, para proyectos en gran escala, se precisan preparados virales en cantidades comerciales. La industria está produciendo en los Estados Unidos preparados semejantes contra varias plagas forestales como, por ejemplo, *Neodiprion sertifer*, *Lymantria dispar* y *Hemerocampa pseudotsugata*. Se han perfeccionado las especificaciones de la evaluación de la seguridad, las de los datos sobre la virulencia requeridos según la plaga que se desea combatir, las de la especificidad y las de los procedimientos de elaboración y purificación (W. E. Waters, comunicación personal). Las técnicas de producción se han perfeccionado tanto y los costos han bajado a tal punto, que pueden competir con los insecticidas químicos (Ignoffo, 1968).

Antiguamente, se empleaban métodos mecánicos para la aplicación de los agentes patógenos, pero en la actualidad el recurso a procesos biológicos ha dado buenos resultados experimentales. Efectivamente, habiéndose colocado en una jaula hembras del lepidóptero *Colias eurytheme*, después de contaminar sus armas genitales con una pasta que contenía un virus poliédrico nuclear, cada vez que dichas hembras ponían un huevo el agente patógeno contaminaba su cáscara o la superficie de la hoja, contrayendo la infección más del 60 por 100 de las larvas (Martignoni y Milstead, 1962). Se han obtenido resultados menos alentadores en experimentos semejantes de diseminación natural de virus por medio de *Trichoplusia ni*, colocándola en jaulas en el terreno (Elmore y Howland, 1964). Se ensayó otra forma de diseminación, más natural aún que la anterior, con *Neodiprion swaini* (Smirnoff, 1962), plaga del pino. Se distribuyeron, bajo los pinos, capullos que contenían larvas a las cuales se les había producido una infección subletal en una fase anterior de su desarrollo. Cuando salían del capullo, las hembras ponían huevos infectados, propagándose la epizootia a la población natural sana. Se trata de un método que tiene claras ventajas, porque sólo se necesitan pequeñas cantidades del agente patógeno y se puede aplicar en el terreno sin máquinas costosas. Además, la dispersión la realiza el insecto

y pronto alcanza a toda la población. Por tal motivo, este método puede ser muy útil (Knippling, 1960) para superficies boscosas muy dispersas, si se emplean adultos contaminados como vectores sanos, o sea, aquellos que tengan una infección latente. Son obvias las grandes diferencias que hay entre el empleo de medios químicos y el de microbios.

Cuando los agentes patógenos no logran subsistir naturalmente, es preciso repetir la contaminación artificial. El efecto y la persistencia de una enfermedad, en una población de insectos, dependen de éstos y del agente patógeno empleado que, a su vez, se encuentran sometidos a la influencia del medio. Se sabe de varios casos en que las enfermedades persisten y se perpetúan por sí mismas, sin que haya intervenido el hombre, o después de emplear medios biológicos. Hay dos posibles causas de la persistencia de los efectos: la «persistencia ambiental» y la «persistencia biológica».

Persistencia ambiental.—El agente patógeno mismo tiene una gran resistencia como, por ejemplo, los virus incluidos en sustancias protectoras y las esporas de bacterias o microsporidios. Se puede comparar este tipo de persistencia, a pesar de la influencia del medio, con el efecto duradero de insecticidas tales como los hidrocarburos clorados, que se mantienen activos en el suelo durante años. Los experimentos sistemáticos realizados por Jaques (1967) han puesto de manifiesto que los virus poliédricos nucleares (VPN) de *Trichoplusia ni*, plaga de la col, se mantienen viables en el suelo por varios años. Se puede suponer que sucede lo mismo tratándose de los VPN de las plagas forestales. Se han perfeccionado mucho industrialmente varios preparados de virus y de *B. thuringiensis*, cuyas fórmulas contienen soluciones tampón con la protección de un revestimiento que aumenta su resistencia al medio. La posibilidad de que un organismo patógeno sobreviva por algún tiempo puede depender, o no, de las condiciones específicas de la infección y de su grado de desarrollo. Así, por ejemplo, la vida de *B. thuringiensis* es breve en la agricultura, pero puede persistir en los cadáveres de *Dendrolimus sibiricus* adherido a las agujas de las coníferas e infectar en esta forma las larvas de la generación siguiente (Talalaev, 1958).

Persistencia biológica.—La segunda causa de la persistencia de los efectos es la actividad del vector o la transmisión del organismo patógeno de una generación a la siguiente (transmisión vertical), frecuente entre los virus y microsporidios, pero más rara entre las bacterias. Las virosis de algunas diprionidas y la microsporidiosis de *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp. constituyen ejemplos bien conocidos. Es posible la persistencia biológica cuando el organismo patógeno es capaz de atravesar, en estado activo, algunas de las etapas de desarrollo del insecto dañino, el cual, a pesar de ser víctima de una infección latente,

puede sin embargo copularse y poner huevos. Las hembras transmiten de esta manera los organismos patógenos y la infección a la generación siguiente o a alguna de las subsiguientes. Los machos, en cambio, lo hacen raras veces. Cuando se produce este tipo de transmisión, se puede apreciar también la gran diferencia que hay entre los organismos patógenos vivos y las sustancias químicas.

Como la persistencia de los organismos patógenos varía con el medio y la población de insectos dañinos, la duración de sus efectos presenta grandes diferencias, pudiendo ser corta o larga, y también mediana. Los efectos de *B. thuringiensis* suelen ser de corta duración y, por tal motivo, sólo se puede recomendar su empleo en los bosques por razones de orden económico, como cuando se ven en peligro maderas de gran valor, cuando el brote no dura demasiado y cuando, en circunstancias especiales, se insiste en los aspectos relacionados con la calidad del medio o la salud pública. Así, por ejemplo, en Alemania, para combatir una plaga de *Tortrix viridana*, se prefirió emplear *B. thuringiensis*, cerca de la ciudad de Hanau, porque no hace daño ni al hombre ni a los animales. Se logró una protección suficiente del follaje (80 por 100), se evitó el crecimiento de ramas epicórmicas y se obtuvo una buena fructificación (Franz *et al.*, 1967).

En Europa y la U.R.S.S. se han dado a conocer nuevos casos en los cuales los preparados de *B. thuringiensis* produjeron efectos de corta duración (Franz y Krieg, 1967). Se consideraron satisfactorios los resultados obtenidos en el terreno en la lucha contra: *Dendrolimus sibiricus*, *Tortrix viridana*, *Selenophora lunigera*, *Thaumatopea pityocampa* y *T. wilkinsoni*, *Zeiraphera griseana* y *Lymantria dispar* (eficacia parcial, mediana solamente). *Lymantria monacha* no es susceptible. No se obtuvieron resultados satisfactorios cuando se empleó contra *Choristoneura murinana*, plaga de *Abies* spp., lo cual confirma las observaciones sobre *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp. publicadas hasta la fecha por los entomólogos norteamericanos.

También en América del Norte dieron resultados positivos parciales los ensayos de lucha contra plagas forestales tales como *Choristoneura pinus* (Cameron, comunicación personal) y *Acleris variaria* (Morris, 1969). Falcon, en el capítulo «Use of bacteria in microbial control» de la obra de Burges y Hussey, 1970, cita otros ejemplos.

Los que se refieren a la lucha contra las plagas forestales empleando medios microbianos cuyos efectos son de mediana o larga duración son demasiado abundantes para enumerarlos en este artículo. Fuera de las mencionadas, en este estudio las plagas forestales son de diprionidas o lepidópteros (de los géneros *Dendrolimus*, *Malacosoma*, *Hyphantria*, *Lymantria*, *Thaumatopea*, y *Kotochalia*). Los trabajos experimentales que se han realizado hace poco en el Canadá (Cameron, comunicación personal) y en Alemania

(Schönherr, 1969), empleando virus contra *C. fumiferana*, plaga de *Picea* spp. y *C. murinana*, especie afín europea, dieron buenos resultados, por primera vez. En los artículos y obras mencionados anteriormente aparecen otros ejemplos.

En lo que respecta a las plagas exóticas, convendría hacer un esfuerzo por averiguar si hay alguna enfermedad que naturalmente desempeñe una función limitante en su país de origen. La duración de los efectos de las virosis exóticas de *Diprion hercyniae*, plaga de *Abies* spp. y, en menor grado, de *Bacillus popilliae*, plaga de *Popillia japonica*, constituyen ejemplos alentadores de los buenos resultados que se pueden alcanzar en otras regiones gracias a la introducción, en parte causal y en parte premeditada, de organismos patógenos. Ultimamente, se ha dado el caso raro de haberse introducido en una región faunística, invadida anteriormente por una plaga, un organismo patógeno nuevo, que la redujo de manera impresionante (*Rhabdionvirus oryctes*), que ataca a *Oryctes rhinoceros*, plaga de las palmas en Samoa y las islas circundantes (Huger, 1966 y comunicación personal). Es cierto que las enfermedades no logran impedir las plagas permanentemente, pero constituyen adiciones valiosas al complejo de factores de mortalidad, como sucede, por ejemplo, en el caso de la poliedrosis nuclear, cuyos brotes periódicos impiden que la plaga de *L. dispar* en Norteamérica dure mucho o adquiera grandes proporciones.

Las enfermedades no siempre atacan a una sola especie, ni tampoco lo hacen los insectos entomófagos. En Europa, la experiencia ha demostrado que *Hyphantria cunea*, después de encontrarse diez años en el nuevo ambiente, era atacada por tres microsporidios y tres virus, desconocidos y probablemente inexistentes en América del Norte, sospechándose, por tanto, que estas enfermedades se las han transmitido otros insectos, larvas de lepidópteros probablemente, del mismo habitat (Weiser, 1956).

Al parecer, se justifica sacar la conclusión general de que toda búsqueda de nuevos enemigos naturales, en otras regiones, debe abarcar *ipso facto* la de los organismos patógenos que atacan a la plaga que se desea combatir y a otras afines. Esto reviste especial valor cuando los insectos entomófagos son incapaces de mantener a raya una plaga.

Los vectores.—Los factores que hacen más duros los efectos de los medios biológicos empleados para combatir las plagas se consideran tan importantes para las exóticas como para las autóctonas. Los entomófagos y los parásitos pueden servir de vectores en la transmisión de las enfermedades, función que suele descuidarse. Como es lógico, el valor de los agentes bióticos se determina en función de la mortalidad directa que producen. Los vectores que propagan las enfermedades por la vía natural tienen una eficacia difícil de evaluar. Se sabe que, incluso el paso de algunos organismos patógenos por el tubo diges-

tivo de los ratones, aves o insectos, por ejemplo, no basta para inhibir su capacidad de producir la infección. Los himenópteros parásitos pueden transmitir los microorganismos al introducir la trompa o el ovipositor en el cuerpo del insecto dañino para alimentarse y poner huevos respectivamente. La forma en que los vectores pueden difundir una epizootia es conocida, a saber, propagando los organismos patógenos que se encuentran en los cadáveres, excrementos, etc. Aunque es poco lo que se sabe con exactitud acerca de la función de los vectores, salvo un excelente estudio sobre *Diprion hercyniae* realizado en el Canadá (Bird y Burk, 1961), este aspecto del empleo de microbios para combatir las plagas no debe descuidarse en el futuro. A continuación, se estudia la manera de enriquecer la población de parásitos y entomófagos.

Hay un caso especial en la actividad de los vectores, a saber, el del nematodo *Neoplectana carpocapsae*, denominado comúnmente DD-136 (Dutky, 1959; Poinar, 1967), portador de unas bacterias patógenas que atacan a los insectos, en un tipo de asociación al parecer simbiótica. Dicho nematodo ataca a muchos insectos de especies muy diversas, que después son víctimas de una infección septicémica. Tiene varias cualidades que lo hacen ideal para su introducción en otras regiones, a saber: tolera temperaturas muy diversas, se puede multiplicar y almacenar fácilmente, resiste a muchos insecticidas y es fácil de aplicar empleando los medios de pulverización corrientes. Son varias las especies forestales susceptibles, incluso las minadoras (Schmiede, 1963; Nash y Fox, 1969). El nematodo que nos ocupa penetra en las galerías abiertas por los insectos dañinos y los devora. Cabe agregar, sin embargo, que necesita mucha humedad para sobrevivir, aunque agregándole a la emulsión acuosa sustancias que retarden la evaporación, se puede mantener por mayor tiempo el grado requerido (Webster y Bronskill, 1968). Sin embargo, las apreciaciones experimentales que se han hecho en la práctica no permiten abrigar grandes esperanzas (Niklas, 1967, 1969). Como, en los bosques, el empleo frecuente de suspensiones de nematodos es probablemente demasiado caro, salvo casos de excepción, es preciso volver a insistir en la necesidad de ofrecer a la fauna y a la flora un habitat suficientemente variado. Vale la pena estudiar en el futuro la posibilidad de crear centros para la formación de colonias de dicho nematodo mediante intervenciones silvícolas en las plantaciones o en aquellos bosques que estén sometidos a un buen régimen de manejo.

Selectividad y seguridad.—Hay algunos organismos patógenos que atacan a una sola especie de insectos como, por, ejemplo, varios de los virus de las diprionidas de las coníferas. Otros, como *Bacillus popilliae*, que ataca a las larvas de *Popillia japonica* y también *B. thuringiensis*, producen infecciones en un grupo de especies afines. Este último ataca principalmente a las

larvas filófagas de algunos lepidópteros (Angus, 1968; Heimpel, 1967; Heimpel y Angus, 1960; Krieg, 1967). Con uno solo de estos agentes patógenos, cuya acción es menos específica, se pueden combatir varias plagas, sin que se vean afectados los insectos útiles ni el equilibrio natural, como sucede con los insecticidas de acción duradera y espectro muy amplio, lo cual constituye una ventaja. Es preciso estudiar a fondo el efecto de aquellos preparados que contienen hongos del grupo *Beauveria* y se están empleando en América (Dunn y Mechals, 1963) y Europa (Martouret, 1969; Samsinakova, 1964). En los bosques, mucho más que en la agricultura, donde las limitaciones económicas son mayores y sólo suelen tenerse en cuenta los efectos inmediatos de los tratamientos, es de suma importancia tomar medidas para proteger la biocenosis reguladora, después de haber reducido bruscamente la población de insectos dañinos. Cabe agregar que ninguno de los preparados de microbios empleados hasta la fecha para combatir las plagas es peligroso para el hombre o los animales domésticos. Permiten, por tanto, resolver el problema que plantean los residuos tóxicos de casi todos los insecticidas y evitar el envenenamiento involuntario de vertebrados e, incluso, seres humanos, por descuido en su manejo, lo cual constituye una gran diferencia.

Plagas resistentes.—En la actualidad, se considera que la aparición de cepas resistentes a los insecticidas, en mayor o menor grado, se debe a su evolución genética. Cabe preguntarse si dicha evolución genética se produce también en los microbios empleados para combatir las plagas (Franz, 1966b). Cuando la interacción tiene lugar entre una sustancia química y un insecto, sólo este último puede evolucionar genéticamente; en cambio, cuando se produce entre un organismo patógeno y un insecto, aquél puede adquirir mayor patogenicidad y éste mayor resistencia. Pero la selectividad de un microbio nunca es tan grande como la de un insecticida, probablemente porque continúan actuando los demás enemigos naturales. Por tanto, en teoría, las cepas resistentes a los organismos patógenos deben aparecer con menor frecuencia que las resistentes a los insecticidas, o bien nunca. Se han estudiado muy pocos organismos patógenos de los insectos durante un tiempo suficiente como para poder generalizar. En realidad, se ha podido observar que, en el laboratorio, se puede lograr un aumento de la resistencia de los insectos a algunos microorganismos sometiéndolos a un proceso de selección continua, como, por ejemplo, *Pieris brassicae*, mariposa de tamaño considerable, que perdió gran parte de su susceptibilidad inicial a un virus que le producía una granulosis, cuando fue sometida a un proceso continuo de cría y selección en el laboratorio (David y Gardiner, 1960). Por el contrario, en la Naturaleza, donde el proceso de selección no es ni tan unilateral ni tan largo, nunca se ha podido observar una reducción permanente de la susceptibilidad de las plagas a raíz

de una gran mortandad causada por un organismo patógeno, aunque es probable que se produzcan breves cambios cíclicos de la tolerancia en algunos casos (Martignoni y Schmid, 1961). Al parecer, el empleo repetido de organismos patógenos, exóticos o autóctonos, para combatir las plagas en el terreno, nunca se ha traducido en una disminución de su eficacia. El caso que se ha estudiado más a fondo es el del virus mencionado anteriormente, de *Diprion hercyniae*, que ataca en Europa a *Abies* spp. Sus efectos son muy duraderos, ya que veinte años después de ser llevado al Canadá no se había podido observar ningún cambio en la mortalidad ni, tampoco al parecer, en las características de la plaga o del virus (Bird y Burk, 1961).

Aunque hay razones para mirar hacia el futuro con optimismo, es preciso tomar medidas de precaución cuando se cultivan, en medio artificial, muchas generaciones de organismos patógenos tales como *B. thuringiensis*, porque al emplearlo se puede romper el equilibrio que hay entre éste y la plaga, siendo posible que aparezcan mutaciones cuya patogenicidad sea diferente, tanto en relación con los insectos como con los animales de sangre caliente. Por tal motivo, es preciso observar si se producen procesos de esta índole y determinar sus posibles efectos en tal sentido.

Evaluación de la mortalidad.—La diferencia entre los medios biológicos y los químicos, cuando se emplean para combatir las plagas, son obvias al determinar sus efectos ya que, los de aquéllos se producen por lo general más tarde. Un caso extremo es el de la propagación artificial de una virosis nuclear de *Malacosoma fragile*, plaga de *Populus tremula*, en Nuevo México, EE. UU. (Thompson, 1959), que provocó una mortalidad de 100 por 100, nada menos que dos años después. Si los daños producidos por las plagas en un bosque durante algunos años se pueden tolerar, quizá sea recomendable provocar epizootias prematuramente, aunque su evolución sea lenta, cuando sus efectos sean más duraderos que los de los insecticidas. Como es lógico, en tales casos no se puede evaluar el método por el número de insectos muertos inmediatamente.

Los efectos de los microbios no sólo son más lentos, sino también más leves que los de los insecticidas. Como ya se dijo, para que la epizootia pase de una generación a la siguiente, suele ser preciso que los insectos tengan una infección latente. Así, por ejemplo, en el caso de los virus que atacan a las diprionidas, no es conveniente que mueran todos los insectos dañinos. El número de los que deben quedar vivos depende, por supuesto, de las consecuencias económicas y éstas, de varios factores, incluso los biológicos. Es ésta una diferencia más con respecto a los principios corrientes de aplicación y evaluación de los efectos de los insecticidas. Así, si se desea conocer toda la verdad cuando se hace una comparación, no se pueden tomar en cuenta solamente características tales como la inclinación de la línea de probits de una curva de

sis-mortalidad, o el número de insectos muertos inmediatamente. Tratándose del empleo de microbios para combatir las plagas, la fórmula de corrección de Abbott o la de Schwerdtfeger (idénticas) tienen aplicación limitada. Cuando la acción de los organismos patógenos es lenta, se pueden obtener resultados más significativos haciendo una comparación de los daños totales sufridos por las hojas en las parcelas tratadas y en las de control (Franz, 1968). Un conocimiento más profundo de los mecanismos naturales de regulación de la población permite obtener los mismos resultados económicos con menos esfuerzo y a menor costo. Se podrían citar aún otros ejemplos más para demostrar que el número de insectos muertos no basta para comparar los efectos de los insecticidas y de los microbios.

Una característica quizá insospechada de los microbios es que no atacan por igual a machos y hembras. De la proporción en que se encuentran ambos sexos depende la reproducción de los insectos. Así, por ejemplo, en estado de larva, las hembras de *Neodiprion sertifer* y de *N. pratti*, plagas del pino, tienen una fase más que los machos y, por tanto, cuando se les aplican virus artificialmente, aquéllas se ven expuestas a la infección por más tiempo que éstos. Los machos llegan antes a la fase de precrisálida y en ésta su susceptibilidad es menor: por tanto, la mortalidad de las hembras es mucho mayor (Bird, 1961; McIntyre y Dutky, 1961). Esta es otra peculiaridad de algunos microbios que afectan más a las larvas de las hembras que de los machos, produciéndose la consiguiente desproporción entre ambos sexos. Por tanto, se puede afirmar que los microbios ofrecen nuevas posibilidades de lucha contra las plagas forestales, que es preciso investigar más, que hay que dar más oportunidades para ensayar los nuevos preparados, sin que tengan que dar buenos resultados la primera vez, y afrontar con un criterio más ecológico los problemas que plantea la lucha contra las plagas.

LAS INTERVENCIONES GENÉTICAS

Las poblaciones naturales están sujetas a constantes cambios. Cada individuo que nace o muere altera no sólo el número, la proporción entre los de uno u otro sexo o edad y otros factores fenotípicos, sino también su composición genética. Se ha tratado de alterar artificialmente la evolución de una población con uno de dos fines: el de mejorarla, y el de hacer disminuir su capacidad de supervivencia.

La selección de las mejores cepas.—La obtención, por medios genéticos, de variedades más idóneas para determinados fines es posible desde hace mucho tiempo, tratándose de especies domésticas, como el gusano de seda y las abejas. Hace poco, se estudió la posibilidad de aumentar la eficacia de algunos entomófagos y parásitos por medios genéticos (De Bach, 1958; Franz,

1961a; Simmonds, 1963). Fundamentalmente el proceso se divide en cuatro etapas que consisten en: (1) determinar cuáles son los caracteres que se desea mejorar; (2) obtener una cantidad suficiente de variables genéticas; (3) encontrar procedimientos satisfactorios, y (4) mantener la integridad de la nueva cepa, en el terreno.

Como ya se dijo, en la actualidad, para la importación de insectos útiles, es fundamental acumular el mayor número posible de variables genéticas de manera que, en virtud de la selección natural, sobrevivan las cepas superiores en las condiciones impuestas por el medio, siendo preciso colocarlas, desde un principio, en situación ventajosa y en número suficiente para que puedan competir con los insectos locales (Wilson, 1965).

La selección de las mejores cualidades de una población en el laboratorio todavía no ha dado buenos resultados en el terreno, quizá a causa de que la reclusión la hace obligadamente unilateral. Puede ser aceptable tratándose de animales domésticos o para producir en masa los insectos que se emplean en el «método de inundación». Suele olvidarse que la producción continua, en masa, en el laboratorio, lleva a la selección de cepas adaptadas al mismo. razón por la cual se ha insistido en que se debe realizar en condiciones más naturales (Stein y Franz, 1960).

Es muy conocido el caso de *Mesoleius tenthredinis*, parásito exótico de *Pristiphora erichsonii*, plaga de *Larix* spp., que perdió su eficacia inicial en el centro de América del Norte, debido a que la mayoría de las larvas adquirieron la facultad de encapsularlo en estado de embrión (Muldrew, 1953). Como todos los parásitos exóticos que la atacan, procedía de Inglaterra, país donde los bosques de *Larix* spp. no son autóctonos. Es posible que no haya dado resultados en esta región debido a que el lote original de parásitos contenía escasas variables. Cuando se introdujeron nuevos biotipos, procedentes de otros puntos del área de dispersión (Baviera: Muldrew, 1964), comenzó a adquirir estabilidad y la encapsulación disminuyó. Por otra parte, el icneumonido *Olesicampe benefactor*, llevado desde Europa a Manitoba, produjo una parasitización de más de 90 por 100, en el lugar donde fue puesto en libertad y dio buenos resultados en otras provincias del Canadá a donde se llevó (Simmonds, 1969). El hecho de que sean tan raros los casos en que la plaga crea un mecanismo de defensa contra el parásito demuestra que, por lo general, se establece cierto equilibrio entre ambos, equilibrio que probablemente les permite convivir (Doutt, 1960) y que, cuando se rompe, se puede restablecer, al igual que la eficacia del complejo, por medios genéticos o introduciendo nuevos parásitos (como lo demuestra el ejemplo).

Es posible que, en el futuro, se logren seleccionar cepas más resistentes a los insecticidas. Estas se podrán emplear en invernaderos, o lugares aislados, so-

bre todo tratándose de aquellas especies que, como las arañas entomófagas, tienen una capacidad de dispersión muy pequeña. En muchas circunstancias resulta difícil lograr que los nuevos lotes conserven sus características e incluso pueden perderlas si la presión selectiva es baja en general y otros individuos no seleccionados invaden el área.

Aquellos agentes bióticos útiles que tienen poca capacidad de dispersión como patógenos se prestan mucho para la selección genética. Se tiene conocimiento que se han obtenido resultados muy alentadores en la lucha contra *Neodiprion swainei* con cepas del virus de la poliedrosis nuclear, seleccionadas por su mayor virulencia (Smirnoff, 1961). Igualmente buenos han sido los resultados obtenidos en el terreno en la lucha contra *Lymantria dispar* (Orlovkaja, 1962) y, en el laboratorio, contra *Galleria mellonella* empleando virus (Veber, 1964). La selección se logró empleando experimentalmente los virus de aquellas larvas que morían primero y presentaban los síntomas más claros. La heterogeneidad misma de los virus hizo posible la adaptación a *Trichiocampus irregularis*, plaga de *Salix* spp., del que ataca a *T. viminalis*, plaga de *Populus* spp., pariente muy cercano de aquél, en tres países (Smirnoff, 1963). La observación de que el virus de las larvas de *Kotochalia junodi* de África, traído de una zona distante donde se producen brotes de dicha plaga, tuvo una acción más enérgica sobre una población experimental (Ossowski, 1960) demuestra nuevamente que el número de variables del lote de virus debe ser suficiente y, probablemente, también el de los demás organismos patógenos, para poder hacer un estudio más sistemático del problema. Hay fundadas esperanzas de que se encontrarán nuevos casos de aumento de la virulencia en relación con un mayor número de plagas y, así, aumentará en el futuro el radio de acción de los microbios como arma de lucha contra las plagas.

El método de autocidio.—Para combatir una plaga valiéndose de sus propios actos, es preciso producir cepas genéticamente inferiores. Se trata, por tanto, de la antítesis de la selección mencionada anteriormente. A este método se le ha dado mucha publicidad en Curaçao y el sudeste de los Estados Unidos a raíz de la erradicación de *Cochliomya hominivorax*. Se ha recomendado investigar más a fondo las diversas posibilidades de aprovechamiento del principio en que se basa el autocidio (Knippling, 1960) como medio de lucha contra las plagas.

1. La utilización de machos esterilizados sexualmente empleando rayos gamma u otros medios físicos. Este es el único método que se ha ensayado ya con buenos resultados en experimentos realizados en gran escala. Posiblemente, el primer caso en que se aplicó a una plaga forestal sea el de la erradicación de *Melolontha vulgaris*, en una pequeña zona de Suiza (Horber, 1963). Se recolectaron muchos machos en

el terreno, se esterilizaron con rayos X y, en seguida, fueron puestos en libertad en un valle aislado. La población local de *Melolontha vulgaris* desapareció después de la segunda generación y del segundo tratamiento. Horber (1969) demuestra concluyentemente que, en determinadas circunstancias, la técnica del macho estéril puede constituir el complemento ideal de los métodos corrientes de lucha, si se desea obtener un efecto duradero. *L. dispar* es la segunda plaga forestal empleada en los Estados Unidos para someter a prueba en el terreno el método del autocidio. Como sigue siendo difícil su producción en masa, a causa de las enfermedades, en la actualidad sólo se proyecta poner en libertad un pequeño número de adultos con el fin de averiguar si el método se presta para impedir que se extienda una población marginal (Knippling, 1969). Lynn (1967) menciona otras investigaciones sobre plagas forestales.

2. El empleo de machos esterilizados por medios químicos y la esterilidad inducida en una población por dichos medios. Se han hecho muchas investigaciones, sobre todo en los Estados Unidos, que han revelado que es posible elaborar compuestos químicos eficaces para esterilizar machos y también hembras, sin que disminuya su vigor general ni su potencia sexual (Smith *et al.*, 1964). La principal ventaja de este método consiste en que se pueden esterilizar poblaciones sin necesidad de criar un gran número de insectos y ponerlos en libertad. Algunas sustancias producen la esterilidad por simple contacto y otras por ingestión. Los esterilizantes químicos son demasiado tóxicos y, por lo mismo, no se puede generalizar su empleo en el terreno, pero pueden usarse en la práctica combinados con sustancias atrayentes.

3. La obtención o hallazgo de cepas de insectos cuyos factores genéticos sean inferiores, letales, o incompatibles con la cepa local y su empleo. Para combatir las plagas de *L. dispar*, Downes (1959) recomendó, en los Estados Unidos, la importación de machos de una raza asiática que, al cruzarse con la europea que actualmente se encuentra en el país, produce hembras estériles. Los medios genéticos se pueden emplear, no sólo para inducir la esterilidad, sino también para obtener cepas inferiores. Es preciso poner en libertad los individuos tratados en épocas favorables, para que puedan prevalecer sobre la población natural. La transmisión de los caracteres de inferioridad a la población, si la frecuencia es suficiente, provoca su destrucción a causa de su menor resistencia a los factores adversos del medio. Se han estudiado los tipos de deficiencia genética que se indican a continuación: incapacidad de diapausa o de vuelo, ausencia de las glándulas que producen la sustancia pegajosa con que se adhieren los huevos a la planta de que se alimentan las larvas, deformación del aparato bucal y varias otras. Un carácter letal dominante, o un mínimo de tres recesivos independientes, pueden

ser tan eficaces como la esterilidad inducida, cuando los insectos son monógamos y, probablemente, más aún cuando son polígamos. *Anthonomus grandis* ha servido de base en la lucha contra las plagas para calcular la eficacia de los ejemplares que tienen caracteres hereditarios letales (LaChance y Knipling, 1962; Klassen *et al.*, 1970). En todos los métodos de lucha contra las plagas que se basan en el autocidio, se requieren individuos capaces de conservar el vigor sexual y mantenerse en condiciones de poder competir con los normales, lo cual es difícil de lograr cuando se recurre a la radiación o a sustancias químicas. Las investigaciones hechas últimamente en los laboratorios del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos han revelado que, incluso dosis subesterilizantes, pueden producir en los F_1 que sobreviven un grado de esterilidad mayor que el de los padres, lo cual se debe, al parecer, a la inducción de un gran número de traslocaciones recíprocas de cromosomas. Los centrómeros difusos, característica estructural única de los cromosomas de los lepidópteros, hacen que dicho grupo de insectos se preste mucho para la aplicación de esta nueva técnica de lucha que permite abrigar grandes esperanzas (Knipling, 1969; North y Holt, 1968). Todos los investigadores insisten en que algunas de estas consideraciones tienen todavía un carácter meramente teórico, porque, con frecuencia, se carece de los datos necesarios sobre la dinámica de las poblaciones, su dispersión y especialmente su tasa de crecimiento. Sin embargo, se están haciendo una serie de experimentos, sobre todo con lepidópteros y dípteros, que han revelado que el principio general que sirve de punto de partida es válido, lo cual estimula la investigación.

Dichos experimentos, y también los estudios teóricos, han demostrado que el método del autocidio, comparado con los corrientes, tiene una gran ventaja, porque, cuando se han alterado, o esterilizado, genéticamente los insectos de manera conveniente, empleando cualquier medio, el control de la población se logra en dos formas. La primera consiste en que no se pueden reproducir, lo cual equivale a matarlos y la segunda, en que se mantienen dentro de la población compitiendo con los normales en la cópula, efecto adicional comparable al de la introducción de individuos estériles. Esta es, pues, la principal ventaja del método del autocidio comparado con los corrientes. Sus efectos son muy rápidos y la erradicación, por lo menos local, se logra mucho antes que con los demás métodos. Como los insectos estériles y con otras deficiencias contribuyen a reducir su propia densidad de población, los gastos son menores.

En los bosques hay dos tipos de plagas que, muy evidentemente, se pueden combatir recurriendo al método del autocidio: las recién introducidas y las que se presentan en lugares apartados, tales como islas, valles o plantaciones aisladas que se hallen en zonas desprovistas de bosques. Aunque el aislamiento es una ventaja cuando se emplea el método del autocidio,

no constituye un requisito indispensable. Se han hecho cálculos que demuestran que, en algunos casos, la introducción de machos estériles o la inducción de deficiencias, como la esterilidad, en forma repetida, pueden ser más económicas que la aplicación de insecticidas (Knipling, 1960, 1969). El método del autocidio debe aplicarse en un momento en que la densidad de población haya disminuido por causas naturales o artificiales.

Para concluir, se puede considerar este método como uno de los últimos y más grandes logros de la lucha biológica. Se está estudiando la posibilidad de emplearlo para combatir toda clase de plagas. El método del autocidio forma parte de la lucha biológica porque supone el empleo de organismos vivos. Con el método de la autodestrucción se puede hacer desaparecer una plaga y erradicarla. Con otras formas de lucha biológica, a lo más, se logra hacer disminuir la densidad de población.

LA CONSERVACIÓN

La conservación tiene tres aspectos (Beirne, 1963a): (a) protección de los enemigos naturales, evitando su destrucción a raíz de las intervenciones silvícolas; (b) fomento, evitando destruir los factores requeridos para su supervivencia y proliferación y (c) aumento, creando dichos factores esenciales deliberadamente. Como los tres aspectos mencionados guardan entre sí una estrecha relación, se tratarán conjuntamente. Para que se entiendan mejor estas tres fases de la conservación, conviene definir los objetivos de la ingeniería forestal en la actualidad. Ya no se trata simplemente de obtener del bosque el máximo de producción en el menor tiempo posible; el concepto del mantenimiento de la productividad ha ido ganando terreno en el manejo de los bosques, después del período de explotación de los mismos. Para poder contar, a largo plazo, con madera suficiente, es preciso modificar los procedimientos empleados en la actualidad, sobre todo, en las plantaciones de especies exóticas que se han hecho últimamente en la América del Sur y Nueva Zelandia (Rühm, 1964).

En relación con este aspecto de la lucha contra las plagas, conviene tener presente que, por ejemplo, aquellas plantaciones que se componen de árboles de una sola edad y especie suelen ser más susceptibles a las plagas que los bosques de especies y edades mixtas, como lo demuestra un prolijo estudio realizado por Morris y sus colaboradores (1963) en el Canadá, en el cual también se señala la causa por la cual en los monocultivos de *Abies balsames* se dan condiciones óptimas para el desarrollo de *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp. El fomento de los bosques mixtos es un medio de lucha contra las plagas silvícola y biológico a la vez. Así, por ejemplo, los parásitos de varios insectos necesitan de hospedantes secundarios y éstos suelen encontrarse en otras plan-

tas. La erradicación de las malezas acarrea la disminución inmediata del número de individuos de aquellas especies útiles cuyos adultos tienen necesidad de las flores o plantas silvestres para alimentarse. Cuando no hay árboles huecos son muy pocas las páridas, importantes aves entomófagas, que logran anidar. Muchos entomófagos tienen necesidad de una presa secundaria que les permita sobrevivir cuando escasea temporalmente la primaria. Si la fauna es variada, el número de vectores de microorganismos patógenos será mayor. La conservación, como fase de la lucha biológica, tiene por objeto velar por la satisfacción de las necesidades mencionadas, lo cual se logra evitando la destrucción de los elementos esenciales del habitat, siempre que sea posible.

Además, se pueden acrecentar deliberadamente dichos elementos, por ejemplo: cultivando aquellas plantas que los parásitos adultos necesitan como fuente de alimento para su reproducción (Beirne, 1963b; Scepelilnikova, 1963); poniendo a disposición de las aves insectívoras escondites (arbustos) o casitas para que hagan el nido (Bruns, 1960); plantando árboles o arbustos que produzcan el alimento que necesitan para sobrevivir en los períodos críticos del invierno aves insectívoras tales como las páridas (Gibb, 1960); protegiendo las hormigas entomófagas del grupo *Formica rufa* de una explotación comercial abusiva (Gösswald, 1958).

Hay aves, mamíferos e insectos sociales que han revelado ser muy eficaces en la lucha contra los brotes locales de una plaga. En efecto, suelen responder en forma muy enérgica cuando aumenta el número de insectos dañinos (Buckner, 1966; Hassel, 1966).

Como es lógico, para lograr un «aumento planificado» de aquellos elementos esenciales para los organismos útiles, es preciso conocer a fondo los factores de que depende fundamentalmente la densidad de población de una plaga y la de sus enemigos locales. Como frecuentemente se desconocen dichos factores, sirva de base el principio general que se indica a continuación, basado en una cuidadosa observación y experimentación (Pimentel, 1961): en la lucha contra las plagas, entra en juego un complejo de interacciones, llamado ecosistema, en el cual no se puede alterar uno de los factores sin que se vean afectados los demás. Para prevenir los brotes de una plaga, tienen mucha importancia la diversidad de las especies y la complejidad de la biocenosis. Posiblemente, cuando se realizan las labores forestales, conviene tomar medidas para conservar y fomentar la variedad de la fauna y de la flora.

LOS MEDIOS BIOLÓGICOS EN LA LUCHA CONTRA LOS ORGANISMOS PATÓGENOS FORESTALES

Las enfermedades de las plantas.—La lucha contra las enfermedades de las plantas difícilmente da buenos resultados si no se combinan muy bien muchas téc-

nicas. La obtención, por medios genéticos, de plantas resistentes constituye evidentemente una «intervención biológica» que escapa al alcance del presente estudio, pero puede muy bien formar parte de la lucha integrada contra las plagas (véase más adelante). En los bosques, por lo general, la aplicación de fungicidas resulta demasiado cara. La silvicultura nos permite evitar o combatir las infecciones de varios modos como, por ejemplo, eligiendo el lugar apropiado, eliminando los hospedantes secundarios de los organismos patógenos, sometiendo el suelo a un régimen de ordenación y empleando semillas que no tengan ninguna enfermedad. En el presente trabajo sólo podremos decir algunas palabras acerca del empleo de organismos hiperparásitos y especies entomófagas en la lucha contra los parásitos patógenos.

El empleo de agentes bióticos para combatir las enfermedades forestales no se ha investigado a fondo. La mayor dificultad que se presenta al respecto es la de lograr que ataquen a los parásitos antes de invadir la planta. Hansbrough (1965) señala que se han empleado en varios casos contra las enfermedades de los bosques, pero no se sabe de ninguno en que los brotes hayan disminuido hasta el punto de hacerse tolerables. La mayoría de los parásitos y enemigos de los agentes patógenos de los bosques hacen que disminuya la producción de inóculo, aunque no tanto como para curar una epifitotia o, lo que es más importante aún, impedir que se produzca. Así, por ejemplo, hay casos como el de *Tuberculina maxima*, que medra bien en la roya vesicular exótica de *Pinus strobus*, en los Estados Unidos (Wicker y Woo, 1969) y el de los hongos e insectos parásitos de *Archeutobium pussillum*, plaga de las coníferas, en las cuales no disminuyen los daños (Wicker y Shaw, 1968). Se espera descubrir, en los terrenos forestales, cuáles son los organismos antagonísticos que impiden la pudrición de la raíz de los pinos (*Fomes annosus*), en el este de los Estados Unidos, cuando no se remueve el terreno donde crecen los árboles. En tal caso, se podrían trasladar a aquellos terrenos que pasan de la producción agrícola a la forestal, quizá inoculándolos en la tierra del vivero, de manera que se proporcione a cada planta una dotación completa de organismos protectores. Las relaciones de los microorganismos que viven en la superficie de las hojas o agujas (baterías epífitas) con los patógenos son muy complejas. En experimentos realizados en invernadero, la aplicación de cultivos mixtos de dichas bacterias, en caldos nutritivos, permitió combatir la roya de las agujas (*Melampsora medusae*) en plantas de vivero de *Pseudotsuga menziesii* (McBride, 1969). Leben (1965) hizo un estudio de este tipo de acción antagonística que se produce entre los microorganismos epífitos y los agentes patógenos. En conjunto, la lucha biológica contra las enfermedades forestales tendrá un carácter más preventivo que paliativo o curativo y deberá basarse en un claro concepto del bosque como ecosistema.

En un estudio reciente, Hulme y Schields (1970) demostraron que, inyectando inmediatamente *Trichoderma virida* en las trozas de *Betula* spp., se puede combatir biológicamente la putrefacción producida por otros hongos que no pueden competir contra dicha especie. Introducida artificialmente, aparece primero, priva a la madera de los carbohidratos que no son estructurales y, sin alterar mucho sus propiedades mecánicas, impide que crezcan otros hongos. Dichos autores recomiendan, sin embargo, que se busquen sistemáticamente otros organismos, hasta encontrar especies mejores que se puedan emplear en condiciones ambientales diferentes.

LOS MEDIOS BIOTÉCNICOS

En algunos casos, se pueden aprovechar aquellas características específicas innatas de la conducta que responden a determinados estímulos físicos o químicos («Metharchon»). Por lo general, no se trata de matar insectos directamente como cuando se emplean los medios químicos o físicos corrientes. Se les ha dado el nombre de medios biotécnicos porque guardan una estrecha relación con las características biológicas del organismo que responde y el estímulo (Franz, 1969). Por lo general, su acción produce en los insectos dañinos atracción, repulsión o desorden fisiológico de manera muy específica.

Las *atrayentes sexuales* son sustancias químicas muy poderosas, que sirven para reunir a los machos con las hembras. Se presentan en muchos órdenes de insectos (estudios de Jacobson, 1965, 1966). Se pueden aplicar con diferentes técnicas a la lucha contra las plagas. La determinación de la abundancia de un insecto se facilita empleando hembras vírgenes, su extremo abdominal, o extractos de las mismas, con el fin de reunir a los machos, como lo demuestra el caso de *Lymantria monacha* y de *L. dispar*. Ya se ha logrado aislar algunos de los atrayentes sexuales de los insectos que atacan a los bosques. A través de experimentos realizados en el terreno, se ha podido conocer el valor que tienen algunos productos sintéticos, como el «Gyplure», que atraen a los machos. Gracias a su empleo se pudo descubrir el comienzo de un brote de *Lymantria dispar* y hacer su reconocimiento. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos realizó una campaña de reconocimiento en gran escala empleando dicho producto. Actualmente, se utilizan trampas desechables de papel, que tienen una mecha para el atrayente y una sustancia pegajosa que retiene los insectos. Se hizo un esfuerzo por confundir a los machos esparciendo «Gyplure», pero los resultados no fueron satisfactorios. Se ha recomendado hacer campañas semejantes empleando otros atrayentes sexuales como, por ejemplo, el de *Diprion similis*, plaga exótica del pino (Casida, Coppel y Watanabe, 1963). Se hizo un experimento en el terreno para confundir a los machos de *Trichoplusia ni*, plaga del repollo, es-

parciendo feromona sexual, con buenos resultados (Gaston *et al.*, 1967).

Las feromonas, que se pueden sintetizar en parte, como, por ejemplo, «Frontalin» y «Brevicomín» (de *Dendroctonus* spp.) ejercen una gran atracción sobre muchas escolítidas. Atraen no sólo sexualmente a más de una especie y determinan, también, en combinación con el mal olor volátil del árbol, el fenómeno de la concentración en masa de las mismas (Vité y Pitman, 1969). Es preciso estudiar a fondo las consecuencias ecológicas que puede tener la aplicación en el terreno de los atrayentes sexuales más poderosos (Atkins, 1968), ya que deben hacer que se ponga en contacto la especie combatida con las sustancias tóxicas, esterilizantes o patógenas, o bien con dispositivos mecánicos, sin contaminar el medio en general ni poner en peligro a otras especies.

Los *atrayentes generales* hacen que los insectos fitófagos se dirijan a las plantas que les sirven de alimento. Son menos específicos en su acción que los sexuales. Los ingenieros forestales de experiencia, que emplean árboles como trampas y se valen del mal olor de la corteza podrida para hacer que se concentren los insectos fitófagos y las escolítidas, con el fin de controlarlos y eliminarlos, conocen a fondo las posibilidades que ofrecen los atrayentes generales en la lucha contra las plagas. Los sintéticos suelen desempeñar una función complementaria, ya que su poder de atracción viene a sumarse al de los árboles empleados como trampas contra las escolítidas. Han facilitado también el estudio de las especies de que se componen las poblaciones de fitófagos y de su densidad, permitiendo hacer un pronóstico más exacto de los brotes (Francke-Grosmann, 1963).

Los *repelentes* son sustancias, o propiedades físicas, que hacen alejarse a los insectos. Suelen usarse también para proteger los cultivos agrícolas de los animales salvajes. Se han perfeccionado compuestos que ahuyentan aquellos insectos chupadores que atacan a los animales domésticos y al hombre (Jacobson, 1966; Painter, 1967). Como, al parecer, ciertas resinas volátiles son causa de que determinadas especies de pinos resistan a las escolítidas y a *Rhyacionia* spp., existe la posibilidad de utilizar en el futuro, también en el bosque, repelentes de mal olor. Otro tanto se puede afirmar acerca de los disuasivos alimentarios, que impiden que los insectos devoren el follaje sin matarlos y no ofrecen peligro para la vida silvestre, a diferencia de los insecticidas de acción duradera. Se están haciendo muchas investigaciones en este sentido, empleando principalmente como disuasivos alimentarios agrícolas compuestos organometálicos, triazonas y extractos de plantas. Los primeros experimentos que se han hecho en el bosque han revelado que el trifenilacetato de estaño protege con eficacia las plantitas de pino del ataque de *Hylobius pales* (Thomas, 1969). El efecto que tienen dichos «disuasivos alimentarios» sobre las especies filófagas sólo permite abrigar esperanzas limitadas, porque no protegen a la generación siguiente.

Es, por tanto, muy conveniente el perfeccionamiento de disuasivos alimentarios sistémicos (Ascher, 1969). También se ha recomendado combatir aquellos insectos que dependen de que las plantas broten en una época determinada, prolongando artificialmente el período de reposo vegetativo mediante la aplicación de ácido abscísico (Eidt y Little, 1968).

Cabe mencionar aquí el sonido como otro medio de atracción o repulsión de carácter biotécnico. Los mosquitos son atraídos por uno que imite el de las alas de la hembra. Las polillas responden a sonidos que se asemejan al grito de los murciélagos cambiando rápidamente de dirección durante el vuelo. Se han hecho algunos experimentos prácticos (Belton, 1962), como, por ejemplo, una población de gusanos del maíz se redujo a un tercio, en comparación con las parcelas de control, cuando se emitieron sonidos de alta frecuencia, desde el atardecer hasta el amanecer, durante la época del desarrollo. Aunque todavía no se tiene conocimiento de que se hayan realizado ensayos con plagas forestales, es justo seguir estudiando las posibilidades de los sonidos atrayentes o repelentes y de la energía electromagnética (Nelson y Seubert, 1966).

Las hormonas de los insectos y los compuestos que las imitan están adquiriendo mayor importancia como medios biotécnicos (Mordue, 1969; Williams, 1969). La hormona de la muda (ecdisona), por ser un esteroide, presenta dificultades en su aplicación tópica, de manera que su interés inmediato es menor que el de la hormona juvenil. Esta, empleada en los períodos críticos, produce perturbaciones letales en el desarrollo de los huevos y en la metamorfosis; las larvas de los insectos no logran formar crisálidas o adultos viables y los huevos depositados por las hembras tratadas no dan crías. En muchos extractos vegetales se han encontrado sustancias análogas a la hormona juvenil, que se considera constituyen un mecanismo de defensa específico que surgió durante la evolución. Es posible sintetizar la hormona juvenil y otras sustancias análogas, como los sesquiterpenos, el farnesol, los ácidos farnesénicos, etc. Algunos nanogramos (10^{-9} g) bastan para producir un efecto parcial. Se están haciendo muchas investigaciones porque, al parecer, es posible su aplicación práctica, ya que cantidades pequeñísimas de esta hormona tienen suma eficacia. Los heterópteros machos tratados con dosis de 1 a 5 microgramos, por ejemplo, se la transmiten a varias hembras durante la cópula dejándolas estériles. Con este método venéreo se logra una nueva forma de autocidio que se puede aprovechar en la lucha contra las plagas. Como en él se vincula la transmisión de la hormona a la actividad sexual, afecta a una sola especie. Se trataron larvas y crisálidas de *Malacosoma californicum pluviale* con éter farnesilmetílico, o con extractos crudos de *Thuja* y de *Pseudotsuga*. Produjeron un aumento de la mortalidad por las anomalías estructurales, dificultades en la muda, mayor infección de virus poliédrico y microsporidiosis, disminución del número de huevos

y de la viabilidad de la progenie a que dieron origen (Wellington, 1969). La hormona juvenil y otras sustancias análogas tienen la desventaja de que no ofrecen protección contra los daños que causan los insectos en sus fases larvales. Son poco tóxicas para los vertebrados, pero todavía es poco lo que se sabe acerca de sus efectos secundarios en relación con el medio. Es discutible que los insectos adquieran resistencia a los plaguicidas hormonales. No se sabe de ningún experimento en el terreno en que se hayan empleado contra las plagas forestales, pero son de esperar.

LUCHA BIOLOGICA CONTRA LAS MALEZAS

El empleo de organismos vivos para eliminar las plantas indeseables se ha limitado a los cultivos agrícolas y a los pastos (véanse los estudios de Hoiolway, 1964; Huffaker, 1959; F. Wilson, 1964). Como algunas de las técnicas empleadas y los resultados obtenidos tienen relación también con los bosques, se darán en el presente estudio algunos ejemplos, sin hacer referencia a sus fundamentos.

La mayoría de los medios biológicos empleados para combatir las malezas se aplican a especies exóticas, de manera que el problema es semejante al que plantea la lucha contra las plagas igualmente exóticas, con la diferencia obvia de que los insectos fitófagos necesitan alimentos más específicos que los entomófagos. Se ha podido demostrar que, importando enemigos naturales, por lo general procedentes de la misma región floral, se ha logrado eliminar una plaga introducida involuntariamente en varios casos. Un ejemplo muy conocido es el de la chumbera, *Opuntia* spp. de Australia y otros Continentes, que fue combatida con insectos fitófagos específicos introducidos, especialmente *Cactoblastis cactorum* (Phycitidae), lo cual ha influido en los bosques, porque las chumberas han hecho no cultivables grandes extensiones, alejando el ganado de los pastos y favoreciendo la reforestación (natural), como puede apreciarse en el trabajo de Dodd (1940).

En otros casos también, la invasión en masa de los pastos por las malezas ha provocado la reaparición del bosque natural. Cuando se ha logrado introducir fitófagos específicos, se ha talado el bosque y la tierra se ha vuelto a destinar a la ganadería. En este caso, no se puede afirmar que la lucha biológica contra las malezas haya contribuido a la protección del bosque.

El esfuerzo hecho en Nueva Zelandia, y últimamente también en California, para eliminar *Ulex europaeus*, constituye uno de los pocos ejemplos en que se ha tratado de combatir, por medios biológicos, malezas de interés (parcial) para los bosques. El granívoro *Apion ulicis* fue llevado desde Europa y se estableció en el país, revelando ser muy específico, pero no se logró reducir en grado suficiente la enor-

me cantidad de semillas que produce esta maleza. En Europa, se están haciendo investigaciones acerca de otros monófagos (Zwölfer, 1968).

Hay una maleza (*Cytisus scorparius*), llevada de Europa a California, que invade los pastizales y los bosques. Se supone que, si se introduce un lepidóptero que abre galerías en las hojas y el tallo (*Leucoptera spartifoliella*), se reducirá esta maleza, que no solamente compite con los árboles forestales deseables, sino que aumenta el peligro de incendio.

El arbusto europeo *Rhamnus cathartica* en el Canadá, es una maleza que sirve de hospedante alternativo a un hongo (*Puccinia lolii*), parásito de la avena. Para combatirlo, se piensa introducir dos geometridas que tienen la especificidad requerida (Zwölfer, 1969).

En Europa, entre las plantas exóticas, las especies de *Solidago* son una maleza en los bosques artificiales, porque compite con las plantas jóvenes, pero los apicultores la aprecian por la producción de polen. Conflictos de intereses como éste han hecho que se importen deliberadamente fitófagos de poca eficacia.

Es posible que la lucha contra las malezas autóctonas, recurriendo a la importación de fitófagos, dé resultados bastante satisfactorios, como lo demuestra la gran reducción de *Juniperus bermudiana*, en Bermuda, que se logró por la introducción accidental de dos coccídeos exóticos, y la destrucción en gran escala del castaño autóctono en los Estados Unidos, debido a la introducción de un hongo (*Endothia parasitica*) procedente de Asia. Por desgracia, ambos ejemplos son de árboles valiosos, aunque podrían encontrarse casos semejantes entre las malezas, ofreciéndose un amplio campo a la investigación, que se debe realizar con cuidado, pero sin demasiadas restricciones, por temor al peligro de brotes (F. Wilson, 1964).

Desde hace tiempo, se sabe que es posible combatir las malezas empleando organismos patógenos, pero hasta la fecha sólo se tiene noticia de unos pocos experimentos realizados en la práctica (C. L. Wilson, 1969). En Minnesota, para transformar en pinares los rodales donde predominaba *Quercus* spp., se procedió a la inoculación del hongo *Ceratocystis fagacearum*, como un medio práctico para eliminar dicha especie. Para combatir a *Diospyrus virginiana*, se pueden cortar los árboles e inocular a los tocones una suspensión de esporas de *Cephalosporium diospyri*, sin peligro para las plantas que no hayan recibido el tratamiento. Se están estudiando otros planes para eliminar las malezas arbóreas y herbáceas, ya que, por sus inmensas posibilidades, se justifica hacer grandes esfuerzos para poder aplicar este método.

LA LUCHA INTEGRADA

Primero, se definía la lucha integrada simplemente como cualquier combinación de los efectos de los organismos benéficos con los otros medios de lucha contra las plagas (Franz, 1961b). Actualmente, sin

embargo, se prefiere una definición más refinada: «Sistema de lucha de una población de insectos dañinos en virtud del cual se emplean, teniendo en consideración el medio en que se encuentran y la dinámica de la especie, todas las técnicas y métodos idóneos de la manera más compatible que sea posible, y se mantiene la densidad a un nivel tan bajo que no pueda causar perjuicios económicos» (R. F. Smith, 1969). Stark, 1970, impugna la afirmación de que son sinónimos los términos lucha integrada y ordenación de las plagas. Propone que la ordenación de las plagas se considere como una disciplina de nivel más alto, o sea, como parte de la ordenación de los recursos naturales y que el término lucha integrada se aplique a la manera de controlar la densidad de población de los insectos dañinos. En este estudio, se trata más bien de los aspectos prácticos de la lucha integrada y se ha puesto especial cuidado en elegir los ejemplos.

La posibilidad de recurrir a la lucha integrada depende en gran parte de la importancia del nivel de los daños económicos. Si el límite es muy reducido y no pueden tolerarse daños, dicha posibilidad es exigua; pero, por lo general, los bosques son capaces de tolerar considerables perjuicios (indirectos) en forma repetida. Esto depende principalmente de la capacidad de regeneración de los árboles. Cuando *Quercus* spp. sufre una defoliación en mayo, en pocas semanas recupera todo su follaje. La capacidad de regeneración de las frondosas constituye una de las causas por las cuales los brotes que destruyen los bosques afectan por lo general sólo a los rodales puros de coníferas (Franz, 1948). Por otra parte, la tolerancia aumenta debido a que, por lo menos en los bosques sometidos a un régimen de ordenación, suelen cortarse periódicamente los árboles dañados cuando se realizan las operaciones de aclareo en el período de crecimiento (Voûte, 1964).

Si no se toman en cuenta las posibilidades de supervivencia del bosque, sino las pérdidas pecuniarias al hacer la evaluación de los daños tolerables (límite económico), el problema adquiere una nueva dimensión. Como lo recalca Stark (1970), y con razón, el concepto de límite económico surgió en relación con la agricultura y no se puede aplicar a la mayoría de las decisiones que hay que tomar tratándose de la ordenación de las plagas forestales, porque se basa estrictamente en la relación ganancias-pérdidas, sin tener suficientemente en cuenta el valor heterogéneo de aquellos bosques que no están destinados a fines comerciales, ni los costos a largo plazo. Por tal motivo, al hacer la evaluación de los riesgos de brotes de plaga en los mismos, es preciso proceder con gran amplitud de criterio.

En la agricultura, las causas corrientes que obligan al agricultor a considerar la lucha integrada son: la aparición de plagas resistentes, el problema de residuos tóxicos y la mayor frecuencia de nuevos brotes, a raíz de la aplicación repetida de medios químicos.

En los bosques se producen por cierto estos efectos secundarios involuntarios, pero no constituyen todavía el factor dominante, como sucede en la agricultura (Schwerdtfeger, 1966).

Ultimamente, se han publicado varios trabajos sobre la lucha integrada, que son de interés forestal (Beirne, 1963a, 1967; FAO, 1966; Franz, 1966a; Knigh, 1962; Koehler, 1959; Stark, 1970; Voûte, 1964). Cuando se hagan estudios más amplios, el autor podrá dar ejemplos prácticos y metodológicos. Como los enemigos naturales desempeñan una función clave en la lucha integrada, la mayoría de los trabajos tratan de dos aspectos: cómo proceder sin recurrir a los insecticidas y, en la imposibilidad de hacerlo, cómo aplicarlos de manera que no causen perjuicio a los antagonistas bióticos de las plagas.

El menor uso de los insecticidas

En los bosques, desde hace mucho tiempo, se ha recurrido al pronóstico para no tener que combatir las plagas después. Antes, los insecticidas no presentaban ningún problema, porque no existían. Posteriormente, cuando hicieron su aparición en el mercado, los entomólogos forestales como, por ejemplo Escherich (1931), se dieron muy bien cuenta de que el principal objetivo de la lucha contra las plagas consistía en proteger los árboles, y no en matar el mayor número posible de insectos. En sus obras completas, se hacen estudios muy minuciosos de las complejas circunstancias biológicas que condicionan los brotes. En ciertos lugares de Alemania y algunos otros países europeos, desde hace más de cien años se realiza la inspección de los bosques de pinos para determinar la densidad de población de los insectos que están hibernando. Actualmente, se conocen los límites económicos de los daños tolerables y se han determinado los valores de las densidades críticas de población de las plagas principales de casi toda clase de bosques, tanto en Europa como en América del Norte. Al hacer los pronósticos de los posibles brotes, no sólo hay que determinar el valor de los aspectos cuantitativos, como, por ejemplo, el número de capullos de diprionidas por unidad de superficie, sino también el de los cualitativos, o sea, el del efecto de los enemigos naturales y su tendencia a aumentar o disminuir (véase Wellenstein, 1942; Janisch, 1959).

Empleando esta técnica para hacer el pronóstico, o sea, evaluando minuciosamente todos los datos con que se cuenta acerca de una situación tan compleja y dinámica, se ha logrado suprimir o reducir muchas campañas de lucha contra las plagas, por haberse descubierto oportunamente que los factores limitantes naturales eran suficientemente eficaces. Se espera que todos los países cuyos bosques están sometidos a un régimen de ordenación realicen este tipo de pronóstico preventivo, con el fin de reducir al mínimo el empleo de plaguicidas. Sirva de ejemplo la reducción

de la superficie tratada, de alrededor de 80.000 a 12.000 Ha., o sea, el 85 por 100, para combatir un brote de *Choristoneura pinus*, en los Estados Unidos, gracias a una elevada parasitización de *Apanteles fumiferana* (Benjamin, 1965).

El diagnóstico de los ejemplares enfermos, la cría de parásitos e hiperparásitos, el conocimiento experimental de la tendencia de la plaga a aumentar o disminuir y de las epizootias, así como de las posibilidades de supervivencia de los árboles parcialmente defoliados y muchos otros datos, son piedras del mosaico que retrata la situación. En otras palabras, gracias a que los forestales, entre los productores de plantas, han sido siempre un sector con preocupaciones ecológicas, se puede contar con técnicas para hacer pronósticos seguros acerca de la evolución futura de un brote que comienza, lo cual permite eliminar las campañas de lucha precipitadas o innecesarias (véanse otros ejemplos en Dowden, 1962).

El aumento de los factores naturales de mortalidad se puede lograr por medio de la ordenación de bosques, las intervenciones silvícolas y las biológicas. En la actualidad, son más los autores que reconocen que la protección planificada tiene cabida en el manejo de bosques y la silvicultura en general (Graham, 1951; Waters, 1963). En resumen, se trata de plantar, cuidar y mantener aquellos tipos de bosques que, a la luz de la experiencia, sean más resistentes a las plagas y estén más de acuerdo con los fines económicos perseguidos. Hay que tratar de evitar los monocultivos susceptibles, teniendo especial cuidado cuando se emplean especies y razas forestales fuera de su área natural de dispersión, aunque se pueden escoger las más resistentes (von Schönborn, 1966). Hay que evitar las operaciones forestales que rompan el equilibrio. Es preciso que el mantenimiento de la productividad del bosque se convierta en un objetivo obligado de la actividad forestal.

Lucha silvícola, para los ingenieros forestales significa en general la aplicación de cualquier tratamiento de esta índole destinado a impedir que las plagas que hay en el bosque aumenten tanto que se produzca un brote. La transformación de un bosque susceptible en uno resistente puede efectuarse desde que se comienzan a aplicar los planes de ordenación, o bien más tarde, durante alguna de las etapas de desarrollo. Pueden contribuir al logro del objetivo perseguido, o sea, aumentar la resistencia del medio forestal a las plagas, las labores de aclareo, las de protección contra las inclemencias del tiempo y, a veces también, las de fertilización (Stark, 1965). Cuando esta forma de lucha da buenos resultados, determina promedios bajos de plagas haciéndose innecesarias las demás medidas de lucha (véanse algunos ejemplos en Voûte, 1964).

En las poblaciones naturales de artrópodos fitófagos, sólo se sabe de dos tipos de procesos reguladores capaces de intensificarse cuando aumenta la densidad, a saber, la competencia entre individuos de

la misma especie y la actividad de los enemigos naturales. Cuando las condiciones del medio son favorables a la plaga, como sucede con todas las especies fitófagas, es imposible recurrir regularmente a la competencia entre individuos de la misma especie. Un proceso en virtud del cual disminuya la densidad de población de los insectos dañinos, a causa del agotamiento de los vegetales que les sirven de alimento, carece de valor práctico como medio de protección. Por tal motivo, el único elemento aceptable capaz de ejercer alguna acción reguladora son los enemigos naturales que, por lo mismo, ocupan un puesto clave en todo programa de lucha integrada. En efecto, es difícil imaginarse en qué circunstancias se podría elaborar un plan de integración de los diferentes métodos de lucha, sin tener muy en cuenta la función que desempeñan, directa o indirectamente, los enemigos naturales. Por tanto, si se reconoce su importancia cardinal como único elemento estabilizador y regulador aceptable, dentro de un medio amenazado por los brotes de una plaga, se comprende inmediatamente por qué todos los métodos de integración tienen en común dos tendencias: favorecer y fomentar la actividad de los enemigos naturales o alterar el medio de tal manera que deje de ser idóneo para la plaga. Es fácil de comprender, también, la razón por la cual es tanto más difícil la integración de la actividad de los enemigos naturales con los medios químicos de lucha que con cualquier otro, hasta tal punto que antes se consideraban del todo incompatibles. Pero los últimos descubrimientos han revelado que se puede lograr una forma de lucha óptima, en la cual se encuentren integradas todas las ventajas de todos los medios con que se cuente, tanto naturales como artificiales.

Se sabe de varios ejemplos de modificación de los medios silvícolas o físicos de lucha, no sólo con el fin específico de preservar los agentes favorables, sino también de aprovechar su actividad. Así, por ejemplo, métodos tan antiguos y directos como la quema de la corteza o su curado al sol, se pueden modificar de manera que destruyan principalmente a las plagas y no a sus enemigos, como cuando se tratan con el calor del sol los troncos de *Pinus ponderosa* atacados por *Dendroctonus brevicornis* (Person, 1940). La mayoría de los cléridos entomófagos (*Thanasimus lecontei*) huyen para refugiarse debajo del tronco, donde devoran a los escolítidos que no hayan muerto a causa del calor. En este caso, no se les debe quitar la corteza a los troncos. Hay otros ejemplos, como el sistema que consiste en quemar la corteza de los árboles que sirven de trampa, en las épocas en que tienen menos parásitos y en dejar en el bosque parte de la copa de los árboles cortados para que se alimenten los hospedantes secundarios de los parásitos más importantes (Nuorteva, 1959).

Para resumir estas observaciones, agregaremos que se conocen muchos métodos de lucha contra las plagas forestales que no se basan en el empleo de sustancias químicas, pero tienen ciertas limitaciones, o se han in-

vestigado y experimentado en escala muy pequeña. La mayoría de las dificultades que presenta la integración provienen de la aplicación de sustancias químicas tóxicas.

Formas de reducir al mínimo los efectos secundarios de los insecticidas.

Al tratar de la importancia fundamental que tienen los pronósticos exactos, se hizo referencia a la preparación de un programa que reduzca el empleo de insecticidas. Aunque es conveniente, no siempre se reduce primero la densidad general de población de las plagas, valiéndose de los enemigos naturales que actúan en forma más o menos permanente, con la ayuda de tratamientos silvícolas cuando es del caso. Cuando no se logre reducir lo suficiente como para que no pase del límite económico, se pueden aplicar temporalmente agentes bióticos, o sustancias químicas de acción rápida, a fin de lograr un efecto satisfactorio. Se conocen varias formas de aminorar el daño que causan los insecticidas a los enemigos naturales.

«La selectividad es el grado en que un tratamiento es capaz de destruir los insectos dañinos sin afectar a sus enemigos naturales» (Bartlett, 1964). Los insecticidas pueden ser fisiológicamente selectivos, lo cual pone de manifiesto la diferencia inherente de susceptibilidad a una sustancia tóxica que hay entre el insecto dañino y su enemigo; pero muy pocos lo son. Ejemplos relevantes para la entomología forestal son algunos insecticidas anticuados, como los nitrocarbazoles clorados, que son también venenos sistémicos y han demostrado su eficacia para combatir plagas forestales tales como *Melolontha* (Scarabaeidae), *Hyphantria cunea*, *Malacosoma neustria*, *Euproctis chrysorrhoea*, y otros lepidópteros (Wellenstein, 1954). Por desgracia, a pesar de todas las recomendaciones de los ecólogos y protectores de la vida silvestre, se han dejado de fabricar estos productos por varias razones de peso. La industria química actualmente no se inclina a fabricar aquellos «insecticidas mandados a hacer» a que se refieren los documentos del simposio de la Entomological Society of America, celebrado en 1965. Podría ser esencial, en el futuro, que los institutos de investigación estatales, por consideraciones de bien público, se encarguen de producirlos, cuando los particulares rehúsen hacerlo por «no haber suficientes probabilidades de perfeccionar productos que den buenos resultados financieros...» (Persing, 1965).

A pesar de no ser insecticidas químicos, hay que volver a mencionar los *microbios patógenos* por su asombrosa especificidad. Los virus y los bacilos esporógenos, hasta donde es dado determinarlo por medio de los experimentos realizados en el terreno, sólo atacan a la plaga que se desea combatir y, a veces, como sucede con *Bacillus thuringiensis*, a un grupo de hospedantes afines (muchos de los lepidópteros). La mayor disponibilidad de preparados patógenos en

el futuro será útil en aquellos casos en que se requiera una gran selectividad.

Las plagas y sus enemigos naturales pueden someterse, en forma diferenciada, a la acción del plaguicida (selectividad física o ecológica), para aminorar los daños causados por los insecticidas de espectro amplio y lograr cierto grado de selectividad y, precisamente en este sentido, los esfuerzos hechos últimamente para proceder a la lucha integrada han permitido descubrir un gran número de nuevas posibilidades.

Hay varios insecticidas de contacto, en la actualidad, que tienen cierto grado de selectividad y se pueden aprovechar. El endosulfan, por ejemplo, es relativamente inofensivo para las abejas; los productos sistémicos no matan aquellos artrópodos que no son fitófagos, si se le aplican correctamente al tronco. Los plaguicidas de acción duradera siempre hacen mayor daño a la fauna. Por el contrario, aquellos residuos que son relativamente fugaces dan lugar a que sobrevivan los artrópodos entomófagos, que se alejan de los nichos protegidos como, por ejemplo, la tierra donde se encuentran en estado de crisálida o las parcelas cercanas que no han sido tratadas, y penetran en la zona donde se ha aplicado. Es muy poco lo que se sabe acerca del tiempo necesario para la degradación de los plaguicidas en relación con su efecto sobre los enemigos naturales de la plaga, que suelen ser fisiológicamente más susceptibles que los hospedantes y estar también más expuestos al contacto con los insecticidas por su mayor movilidad. Actualmente, se prefiere a veces emplear los compuestos orgánicos del fósforo, para combatir las plagas forestales, porque sus efectos son menos duraderos. Así, por ejemplo, para combatir a *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp., en el Canadá se emplea Fosfamidon, en vez de los hidrocarburos clorados, gracias a lo cual han disminuido los daños de los salmones, que son inevitables cuando se emplea DDT (Fettes, 1963). Sin embargo, cuando se empleó el mismo producto en Suiza, murieron muchos pájaros (Schifferli, 1966).

Reduciendo la dosis, a veces se puede lograr cierto grado de selectividad, empleando insecticidas de espectro amplio, como se ha hecho, en gran escala, en los bosques con el DDT y el hexacloruro de benceno (BHC). No se puede dar ninguna regla general «a priori» sobre la dosis óptima, porque ésta depende de muchas variables. La cantidad de residuo que se precisa para matar un número de insectos suficiente para que no hagan daño y quede vivo un número de enemigos naturales (que, como se dijo anteriormente, suelen ser más susceptibles) suficiente para restablecer un equilibrio eficaz, hay que determinarla empíricamente y depende en alto grado de las circunstancias locales, de las tendencias del brote y del momento en que se aplica el insecticida.

A manera de pauta, se puede indicar la dosis de 279 gramos de DDT (puro) por hectárea, que dio resultados satisfactorios en el Canadá, durante la enorme

campana realizada contra *Choristoneura fumiferana*, plaga de *Picea* spp. En Quebec, los enemigos naturales acabaron con el brote, después del tratamiento con DDT (Blais, 1963). Con dosis semejantes, a saber 0,5 kg de DDT por hectárea en forma de aerosol, dieron resultados satisfactorios, reduciendo el número de insectos dañinos y dejando vivos, al mismo tiempo, un número de parásitos y entomófagos suficiente para restablecer el equilibrio, en la lucha contra las plagas que se indican a continuación: *Bupalus piniarius*, plaga del pino y *Lymantria monacha*, en Checoslovaquia (Martinek, 1966): se dice que, en España, la aspersión de DDT, al 10 por 100, no produjo efectos muy duraderos, cuando se empleó contra *Lymantria dispar*, plaga de *Quercus* spp. (debido quizá a una insolación intensa), pero conservaron su eficacia los parásitos (Romanyk, 1958). Más adelante, se tratará de los insecticidas en dosis pequeñas combinados con microbios patógenos.

La oportunidad es otro aspecto importante de la integración de los medios químicos con los agentes bióticos, que puede atenuar los efectos dañinos de los insecticidas de espectro amplio sobre los enemigos naturales. Basándose en el conocimiento a fondo del ciclo vital, los insecticidas se pueden aplicar cuando los organismos útiles están en su período de reposo vegetativo, en el de resistencia, o en una fase en que se encuentren protegidos, o bien, cuando estén temporalmente lejos del habitat inmediato de la plaga. Citaremos, a manera de ejemplo, la aplicación de insecticidas de contacto, por lo general DDT (en dosis muy bajas a veces) para combatir las plagas en los casos que se enumeran a continuación, antes de que hagan su aparición en el terreno sus principales parásitos:

a) En las primeras fases larvales de *Lymantria monacha*, plaga de *Picea* spp. (Gäbler, 1950), *Dendrolimus pini*, plaga del pino (Ryvkin, 1955), *Choristoneura murinana*, plaga de *Abies* spp. (Franz y Wellenstein, 1958), *Archips crataegana*, plaga de *Quercus* spp. (Hochmut, 1963), *Diprion pini*, plaga del pino (se salvan sólo los huevos de los parásitos) (Avramenco, 1958) y *Neodiprion sertifer*, plaga del pino (Martinek y Kudler, 1964).

b) Aplicando hidrocarburos clorados (DDT, Toxafene) a los huevos, poco antes de que nazcan las larvas de *Diprion pini*, plaga del pino (Urban, 1964), se descubrió que estas sustancias tóxicas son capaces de atravesar la envoltura espumosa que los protege cuando están incrustados en las agujas del pino, constituyendo un aspecto curioso el hecho de que sobrevivían los parásitos de los mismos huevos, que nacen mucho más tarde.

c) Aplicando los tratamientos a los adultos aislados, o sea, en una etapa mucho más temprana del ciclo vital, corren menos peligro los parásitos en estado de larva y de crisálida, habiéndose realizado experimentos que dieron buenos resultados, en Checoslova-

quia, para combatir lepidópteros (*Epinotia tedella*) y diprionidas (*Pachynematus scutellatus* y *Cephalcia abietina*), plagas de *Picea* spp. (Martinek, 1966).

En los ejemplos citados anteriormente, es posible que, por haberse hecho la aplicación demasiado pronto, hayan escapado con vida algunos insectos que todavía no habían salido del huevo. Para que la fecha de aplicación favorezca a los agentes bióticos, por lo general, es preciso sacrificar algo de la eficacia del tratamiento y así lograr la continuidad de la función reguladora de la biocenosis. La experiencia ha demostrado que vale la pena sacrificar la «eficacia» en esta forma, para lo cual, por supuesto, se requiere conocer a fondo el calendario de la plaga y del parásito y aplicar el insecticida oportunamente, desde el punto de vista biológico y no técnico. Esta serie de experimentos en el terreno, que han dado buenos resultados (incompleta, por cierto) nos demuestra una vez más que toda lucha racional contra las plagas debe tener un fundamento ecológico.

Para reducir al mínimo el empleo de los insecticidas, es preciso aplicarlos solamente cuando y donde se sepa con certeza que los factores naturales son insuficientes para poner coto a la plaga. El objeto que se persigue al hacer esta economía en el empleo de insecticidas no es el de rebajar los costos de tratamiento, ya que suele ser más barato aplicarlo por parejo en grandes extensiones. La dificultad con que tropiezan los biólogos que toman parte en la planificación de las campañas (y siempre deben hacerlo) es la de convencer a los forestales, que enfocan el problema desde el punto de vista técnico, de que vale la pena hacer mayores esfuerzos y aplicar el tratamiento solamente a los puntos más atacados por la plaga. Siendo pequeñas las extensiones tratadas y el número de insectos útiles muertos, otros pueden acudir desde los refugios vecinos y restablecer el equilibrio, en poco tiempo.

En el bosque, uno de los métodos consagrados de lucha integrada consiste en reducir al mínimo la superficie tratada y casi no tiene límite. Comienza por un grupo de árboles, se reduce luego al tratamiento de cada uno de ellos, infestados, por ejemplo, por escolítidas, que atacan a la corteza, y se termina en una dimensión sumamente pequeña donde se aplican insecticidas de contacto persistente a la punta de los pinos jóvenes, a fin de proteger solamente las yemas de la flecha contra *Rhyacionia buoliana* (Miller y Neiswander, 1955). Otra manera de alejar las orugas fitófagas de la copa consiste en aplicar el insecticida en forma de anillos alrededor del tronco, empleando una pistola especial. Las larvas de *Dendrolimus pini*, después de invernar en la tierra, no pueden trepar en la primavera para buscar su alimento y, al mismo tiempo, quedan expuestas al ataque de sus enemigos (Gäbler, 1950; Rudnev y Zagaikovic, 1952). Para el tratamiento focal, se precisa por lo general más mano de obra que para la aplicación indiscriminada de insecticidas en gran escala, siendo, por tanto, de espe-

cial interés, en aquellas zonas donde abunda aquélla y los salarios son bajos.

Se espera que se perfeccionen aún más las técnicas de tratamiento focal, gracias a la combinación de los insecticidas con sustancias atrayentes. La técnica clásica de lucha contra las escolítidas que atacan a la corteza, a saber, el método del árbol que sirve de trampa, se está modernizando en la actualidad, ya que se combina con los insecticidas de contacto o la fumigación. Knight (1962) da un claro ejemplo de integración de la aplicación de los insecticidas en la parte inferior del tronco en la lucha contra *Dendroctonus engelmanni*, en el centro del área afectada por la plaga, mientras que la zona marginal y la parte superior del tronco son objeto de la actividad del pájaro carpintero, que viene a complementar en esta forma el efecto de la aplicación limitada del insecticida. El perfeccionamiento de algunos atrayentes sexuales sintéticos y el descubrimiento de otros en las diprionidas y las escolítidas, así como en diversos otros grupos de insectos, además de los lepidópteros, constituyen hechos alentadores.

En algunos casos, también se pueden emplear los insecticidas para allanar el camino a los agentes bióticos como, por ejemplo, reduciendo la densidad de población de los insectos dañinos, por medio de las sustancias químicas corrientes, antes de introducir los insectos esterilizados. Como los insectos estériles tienen que ser más que los fértiles, para reducirlos al número requerido, se procede a matar directamente gran parte de estos últimos empleando insecticidas (u otros medios) (Knipplig, 1960).

Hay un tratamiento que se basa en la pérdida de vigor que produce la aplicación de insecticidas, que es más delicado. Los experimentos realizados en la U.R.S.S. principalmente, indican que los insecticidas, sobre todo el DDT y el hexacloruro de benceno (BHC), tienden a producir cierto efecto sinérgico cuando se les administra, en dosis pequeñas a ciertos agentes patógenos. Por tal motivo, se piensa que bastan cantidades minúsculas de sustancias tóxicas para aumentar la susceptibilidad de algunas larvas de coleópteros y lepidópteros perjudiciales lo suficiente como para que las bacterias u hongos patógenos puedan infectarlas con mayor facilidad. Se presenta, evidentemente, la dificultad de determinar la dosis de insecticida de tal manera que no afecte a ciertos insectos útiles como, por ejemplo, los microhimenópteros, que son muy susceptibles. Se han hecho experimentos, inéditos, empleando DDT muy poco concentrado (hasta un mínimo de 0,0016 por 100 de compuesto puro) y se ha observado una influencia perjudicial para *Trichogramma*. El hecho de que muchos preparados de microbios patógenos, e incluso de nematodos (DD-136), sean compatibles con la mayoría de los insecticidas, facilita la aplicación de este método. Sin embargo, hay que estudiarlo más a fondo y confirmarlo (véase el estudio de Telenga, 1964). Si la plaga ya tiene una infección latente, como suele suceder con

las larvas de *Lymantria dispar* afectadas por una poliedrosis nuclear, la aplicación de DDT, en dosis muy pequeñas, es suficiente, una vez más, para producir la epizootia. Kovacevic (1965) da varios ejemplos y recomienda que se estudie más a fondo este método para poder aprovecharlo.

Posibilidades futuras

Como los bosques se prestan mucho para la lucha integrada, es muy conveniente recomendar que se estudien a fondo los problemas planteados y la aplicación de los principios descubiertos por los precursores de la entomología forestal mencionados anteriormente. En todo problema ecológico, son importantes las circunstancias del lugar. Por tanto, es preciso destinar bastantes energías y fondos a su investigación y a la formación de un número de personas que sea suficiente para realizar, en gran escala, la labor iniciada por unos pocos.

La lucha integrada no consiste sólo en inventar trucos técnicos para poder emplear una menor cantidad de insecticidas en los bosques, tomando en consideración la conservación y el aumento de los agentes reguladores bióticos ni en imitarlos, sino en la aplicación de nuevos y sólidos principios ecológicos a la protección del bosque, como parte de los proyectos elaborados para su manejo y de su ejecución. Éste es el concepto que deberá predominar en el futuro.

Conclusión

El presente informe tiene un doble propósito: reunir los principales datos acerca de las nuevas técnicas y posibilidades con que se cuenta actualmente en relación con la lucha biológica e integrada contra las plagas forestales, e insistir en otras necesidades futuras en lo que respecta a la investigación, a los medios que se precisan para la misma y la lucha, la formación de personal y la organización.

LA INVESTIGACION

La elaboración de los proyectos de lucha biológica solía hacerse en el pasado con mucha negligencia, por subestimarse las consecuencias ecológicas del traslado de especies a un nuevo «habitat» y a una nueva biocenosis. Todos están de acuerdo en que es preciso hacer un estudio a fondo antes de ejecutar un proyecto de introducción de organismos útiles, tanto en el país de su procedencia como en aquel donde se presenta el problema. Cuando se buscan analogías climáticas entre ambos, es preciso cerciorarse de que los factores meteorológicos comparados son relevan-

tes para las especies de enemigos naturales respectivas.

Hay un aspecto del traslado que antes era virtualmente desconocido y es el de la importancia que tiene el fotoperíodo para que se produzca la diapausa. El traslado de biotipos genéticamente adaptados a un fotoperíodo diferente puede no dar buenos resultados, a pesar de ser perfectamente similares los demás factores meteorológicos. Para elegir inteligentemente los nuevos parásitos o entomófagos, se justifica hacer estudios especiales sobre la dinámica de las poblaciones, con el fin de determinar el grado en que dependen de las diferentes densidades de población de la plaga. Aunque hay problemas tales como la importancia de la competencia y otros tipos de interferencia entre los enemigos naturales, que se deben estudiar, el autor considera que ninguna teoría preconcebida debe constituir un obstáculo insalvable para hacer experimentos en el terreno.

En la ejecución de varios proyectos de lucha biológica bien concebidos, los estudios aplicados sobre la dispersión y la eficacia de los enemigos naturales introducidos han sido insuficientes y, con frecuencia, por no haberse logrado inmediatamente todos los buenos resultados que se esperaban, se ha suspendido la ejecución de un proyecto. Urge reanudarlas en tales casos, si una evaluación a fondo de la situación revela que hay posibilidades que se habían pasado por alto o descartado.

Turnock y Muldrew (1970) han estudiado el aprovechamiento de los parásitos, autóctonos y exóticos, de los insectos que atacan a los bosques en América del Norte, enumeran muchos aspectos importantes de la investigación e insisten en que no se debe adoptar una actitud de «todo o nada» cuando se trata de evaluar los resultados, buenos o malos, de algún tipo de lucha biológica. Es posible que, aunque sean sólo buenos en parte, constituyan contribuciones valiosas como factor regulador general que formará parte de los programas de lucha integrada y, simplemente por estar éstos disponibles, puede adquirir especial importancia si cambian las circunstancias. Es muy posible que una especie entomófaga, que anteriormente no producía efectos muy impresionantes, adquiera mayor resistencia, o que, gracias a su conducta, se vea más protegida contra los insecticidas, pudiendo ser su supervivencia al ataque químico decisiva para la duración del efecto. La flexibilidad del complejo de los factores de lucha en su conjunto, al parecer, tiene suma importancia, sobre todo cuando sufre perturbaciones frecuentes, como sucede especialmente en los bosques puros de gran extensión sometidos a tratamientos silvícolas. En relación con lo dicho, merecen mayor atención los agentes bióticos autóctonos, debiendo estudiarse la posibilidad de aumentar su eficacia, por medio de la conservación o de dichos tratamientos silvícolas.

LOS MEDIOS

Sin medios suficientes no se puede esperar una investigación eficaz. Entre los «medios» se incluyen también las publicaciones. Las que se precisan con mayor urgencia son estudios sobre los experimentos de lucha biológica realizados en cada región como, por ejemplo, últimamente las «Technical Communications» del Commonwealth Institute of Biological Control, núms. 1 y 2, que se refieren a Australia y el Canadá (Wilson, 1960; McLeod, 1962; McGugan y Coppel, 1962). Hay dos revistas donde aparecen informaciones de otra índole, una sobre patología de los insectos (*Journal of Invertebrate Pathology*, Acad. Press Inc., que se publica desde 1959) y otra que trata de todos los aspectos de la lucha biológica contra los insectos de todo el mundo (*Entomophaga*, París, que se publica desde 1956). Desde 1956 hasta 1959, *Entomophaga* contenía una bibliografía especializada que se publicaba anualmente. En el futuro, se enriquecerán las bibliografías, porque los conocimientos están aumentando a paso acelerado. Para la elaboración de los proyectos de lucha biológica internacional, será necesario poder consultar rápidamente las publicaciones del extranjero, como primera medida y, por tal motivo, el intercambio de conocimientos constituye uno de los aspectos más importantes del programa de la International Organization for Biological Control (IOBC).

Salvo algunas excepciones dignas de encomio, son muy pocos los laboratorios de lucha biológica en todo el mundo y, además, carecen de suficiente personal y equipo. Teniendo en consideración el inmenso campo de investigación mencionado en este breve estudio, no hay duda de que la escasez de laboratorios es una de las causas por las cuales la lucha biológica progresa con tanta lentitud. Un estudio prolijo de los datos con que se cuenta ha demostrado la superioridad económica de los métodos bioambientales de lucha contra las plagas, en comparación con la aplicación continua de insecticidas (Pimentel *et al.*, 1966; Simmonds, 1967).

FORMACION DE PERSONAL

La mejor manera de influir en los gobernantes consiste en informar al público. En casi todos los países, la opinión pública y su apoyo constituyen requisitos indispensables para obtener ayuda del Estado. Como

tratándose de la lucha biológica no hay productos a la venta (salvo los preparados de microbios patógenos), no se precisa propaganda comercial. Una de las necesidades más urgentes es la de ampliar los estudios de ecología en las facultades y escuelas forestales. Cualquier persona que haya comprendido los principios de la lucha por la vida y la coexistencia de los seres orgánicos, tendrá suficiente amplitud de criterio, para aceptar las consideraciones que se han hecho en el presente estudio, con lo cual, a la larga, se obtendrá un apoyo mejor y más constante del Estado a las campañas de lucha biológica.

Para una formación avanzada, son demasiado escasos los laboratorios e instituciones capaces de admitir biólogos para su especialización en lucha biológica. Los planes de formación respectivos deberán constituir una tarea importante de los Organismos internacionales, porque la mayoría de los interesados y de los Centros de formación carecen de recursos propios para tal fin.

ORGANIZACION

En las campañas de lucha biológica en que suelen colaborar especialistas de diversos países, el grado de eficacia depende en gran parte del apoyo de las instituciones. Hay dos organismos internacionales: el Commonwealth Institute for Biological Control (CIBC) y la International Organization for Biological Control (IOBC). Esta última está a punto de surgir del seno de la Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB), europeo-mediterránea, bajo los auspicios de la Unión Internacional de Ciencias Biológicas (UICB). El objeto de la IOBC es lograr la colaboración y el intercambio de conocimientos sobre la lucha biológica, en todas las regiones del mundo (De Bach, 1970), lo cual se hará más factible creando secciones regionales y admitiendo en su seno tanto personas particulares como instituciones. La IOBC está colaborando estrechamente con el CIBC, que tiene una enorme experiencia en el suministro de entomófagos y herbicidas (véanse sus Annual reports). Ambas instituciones podrán ayudar a iniciar y realizar campañas de lucha biológica en los bosques, tanto directa como indirectamente. La IOBC se valdrá de sus relaciones con la FAO y la OMS para fomentar las ideas de lucha bioambiental, expuestas en el presente estudio y contribuir, en esta forma, a mejorar la calidad del medio.

