

REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE HISTORIA NATURAL

LA RESISTENCIA ETOLOGICA Y FISIOLÓGICA A INSECTICIDAS; RESULTADO DE SELECCION DARWINIANA

OTTO HECHT

Dirección de Investigación y Fomento,
Comisión Nacional para la
Erradicación del Paludismo, México,
D. F.

Alrededor de 1902, se logró dominar en árboles frutales, en el Estado de Washington las infestaciones causadas por la escama de San José, *Aspidiotus perniciosus*, mediante aspersiones de polisulfuros de calcio (lime-sulfur). Unos 11 años más tarde Melander encontró que el 75% de las escamas sobrevivieron los tratamientos de los árboles, aunque la dosis del insecticida fue incrementada diez veces, y planteó por primera vez la cuestión: "¿Pueden los insectos hacerse resistentes a las aspersiones?"

Desde ésta observación (Melander, 1914) se comunicaron numerosos casos de resistencia de insectos y ácaros a muy diversos insecticidas, y el término *insectos resistentes*, aunque quedará siempre expuesto a críticas, por falta de una expresión mejor, se ha usado para denotar el hecho de que una población local de cierta especie, que antes podía ser dominada por la aplicación de determinada cantidad de insecticida, ya no puede ser combatida por ésta. Para obtener efectos letales sobre los insectos de esta localidad se necesitarían dosis muchísimo más altas que las antes usadas, en general tan grandes, que su empleo resultaría completamente antieconómico.

La resistencia se establece en una población de insectos a través de varias generaciones y debe diferenciarse de la simple falta de susceptibilidad natural en una especie, por ejemplo la del picudo del algodón (*Anthonomus grandis*) y la de la conchuela del frijol (*Epilachna varivestis*) al DDT.

Basándose en la definición que la Comisión de Expertos sobre Insecticidas de la Organización Mundial de la Salud formuló en 1957, se puede decir lo siguiente:

Resistencia (y añadimos hoy a veces: *fisiológica*) a insecticidas es la evolución de la capacidad, en una cepa de insectos, de tolerar cantidades de sustancias tóxicas que son letales para la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie. Bajo el término de *behaviouristic resistance* o sea *resistencia por conducta* (y hablamos hoy a veces de *resistencia etológica*) se entiende la evolución, en cierta población de insectos, de la "habilidad para evitar" el contacto con una dosis letal de insecticida.

El problema de la resistencia empezó a incrementarse muy considerablemente al desarrollarse el empleo de los hidrocarburos clorados, que se inició con el descubrimiento de los efectos insecticidas del DDT en 1939. Este tipo de insecticidas se distingue de otros, principalmente por la larga persistencia de su eficacia, razón por la cual se usa tan frecuentemente en rociados intradomiciliarios en contra de plagas de importancia en salud pública.

Pero, al exponer algunas ideas generales sobre el establecimiento de la resistencia, no debemos omitir los muchos casos que de ella se presentaron a muy diversos insecticidas en una gran variedad de insectos. Es digno de recordarse lo sucedido con los siguientes cóccidos: la escama roja de California *Aonidiella aurantii* la escama negra *Saissetia oleae*, y la escama citrícola *Coccus pseudomagnolarium*, que se combatieron fumigando árboles cítricos con ácido cianhídrico, caso observado y estudiado sobre todo por Quayle, en California, a partir de 1916. Un caso de gran importancia práctica y ocurrido también en la fructicultura, es el del gusano de la manzana *Carpocapsa pomonella*, por el descubrimiento de cepas resistentes al arseniato de plomo; queremos además, de entre los muchos ejemplos que pueden citarse, mencionar la resistencia de una garrapata del ganado, *Boophilus decoloratus*, a baños arseniosos en Africa del Sur.

Cuando se observan nuevos casos de resistencia en artrópodos de importancia médica, son reportados por la División de Saneamiento Ambiental de la Organización Mundial de la Salud. Entre los hallazgos de resistencia fisiológica a hidrocarburos clorados, tenemos los de varios anofelinos. *Anopheles gambiae* y *A. pseudopunctipennis* presentan resistencia al Dieldrín; *A. sudaicus* y *A. stephensi* al DDT. De *A. quadrimaculatus*. *A. subpictus* y *A.*

saccharovi, se conocen casos de resistencia a DDT y a Dieldrín. De *Aedes aegypti* se conoce resistencia a DDT, igualmente sucede con *A. taeniorhynchus*, *A. sollicitans*, *A. dorsalis* y *A. nigromaculis*. *Culex quinquefasciatus*, el mosquito doméstico común en las regiones subtropicales y tropicales, y *C. pipiens*, mosquito de climas más fríos, mostraron resistencia a DDT y a Dieldrín, también a HCH y Chlordane. *Cimex lectularius* es resistente a DDT y a HCH; *Cimex hemipterus* lo es a DDT, Dieldrín y HCH. Se conoce resistencia de *Pediculus corporis* a DDT y HCH. En las pulgas se conoce resistencia de *Pulex irritans* al DDT, y de *Ctenocephalus canis* y *C. felis*, a DDT, Dieldrín y Chlordane. En la garrapata *Rhipicephalus sanguineus* hay resistencia a DDT. Entre las garrapatas del ganado vacuno, *Boophilus microplus*, es resistente a DDT, Dieldrín, HCH y Chlordane; *B. decoloratus* es resistente a Dieldrín, Chlordane y Toxaphene.

Esta lista no está completa y tampoco explicamos aquí cuántas veces y en qué lugares de la distribución de una especie se produjo una resistencia a cierto insecticida, así como que varios de los artrópodos mencionados aún pueden combatirse, en algunas regiones de su distribución geográfica, con los insecticidas mencionados.

En *Musca domestica*, sin embargo, la resistencia al DDT parece haberse establecido en todas las regiones de su distribución mundial.

En el combate de moscas, los hidrocarburos clorados han sido substituidos por algunos compuestos orgánicos fosforados, que en general son de rápida acción sobre muchos insectos, pero tienen menor persistencia de su eficacia en las superficies rociadas. No obstante, ya se conocen casos de resistencia de diversos insectos, también a algunos de estos insecticidas fosfóricos.

* * *

Cuando hace algunas semanas comencé a pensar cómo pudiera exponer los fenómenos que forman el título de esta ponencia, me llegó un artículo en el cual el lepidopterólogo y genetista H. B. D. Kettlewell describe un cambio de la coloración de muchas palomillas como consecuencia de una selección darwiniana en un ambiente grandemente alterado por el hombre moderno.

Ya que se encuentran notables similitudes entre el establecimiento de una resistencia a insecticidas y el desarrollo de los fenómenos que este lepidopterólogo explica, me permitiré antes de comenzar con mi propio tema, citarles los principales rasgos del mencionado artículo. Considera este autor que en el "Origen de las especies", a pesar de ser el fruto de una inmensa acumulación de datos, hay dos lagunas fundamentales en las evidencias que Darwin reunió durante los 26 años de trabajo, previos a la publicación de su obra principal.

Darwin no tuvo conocimiento del mecanismo de la herencia y además no pudo comunicar un solo ejemplo de observación directa de un proceso de evolución en la naturaleza. Es una rara coincidencia que ambos vacíos pudieran haber sido llenados durante la misma vida de Darwin. Gregorio Mendel publicó las leyes de la herencia en 1866, pero no fueron conocidas por la comunidad de biólogos antes de 1900. Y antes de que muriera Darwin en 1882, un muy impresionante cambio evolutivo como jamás fue presenciado por el hombre, sucedió en la misma patria de Charles Darwin. Este cambio fue el siguiente: Numerosas especies de lepidópteros que antes estaban caracterizados por su coloración clara, que correspondía a los matices también claros del substrato sobre el cual posaban, troncos de árboles ó rocas cubiertas de líquenes, cambiaron su coloración a tintes oscuros.

Sucedió que la vida de Darwin coincidió con una gran alteración hecha por el hombre en el ambiente natural. Desde que la revolución industrial empezó en la segunda mitad del siglo XVIII, grandes áreas de la superficie de la tierra fueron contaminadas por partículas de humo. En y alrededor de centros industriales, la caída de partículas de carbón es mensualmente de toneladas por milla cuadrada, y sólo en años más recientes se observó las grandes distancias a las cuales llegan las más leves partículas de humo y hasta qué grado afectan a la flora y fauna de la campiña. En el caso de la vegetación, éstas partículas cubren no solamente el follaje, sino también matan los líquenes que crecen sobre troncos y ramas. Las lluvias bañan con la correspondiente suspensión de partículas de hollín el ramaje y los troncos, hasta que la corteza queda al descubierto sin vegetación epifita y se ennegrece. En distritos muy contaminados hasta las rocas y el suelo están atezados.

En Inglaterra se conocen actualmente unas 760 especies de palomillas o "moths" de mayor tamaño. Más de 70 especies cambiaron durante la época moderna de industrialización su color y dibujo y se caracterizan hoy por sus matices oscuros o aún por una coloración completamente negra. Iguales transformaciones sufrieron varias especies de lepidópteros en las áreas industriales de Francia, Alemania, Polonia, Checoslovaquia, Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica. Sin embargo, no se observaron tales cambios en países tropicales. Debe hacerse

hincapié en que el "melanismo industrial", como se llamó a este fenómeno, se presentó únicamente entre mariposas activas de noche, que pasan el día en reposo sobre lugares como troncos de árbol, etc.

El caso más estudiado es el de la "peppered moth" o sea la palomilla salpicada, de la cual hasta el año de 1848 se conocía sólo su forma típica y gris, denominada *Biston betularia*. A partir de esta fecha surgió una variedad melánica, descrita con el nombre de *Biston carbonaria*. Esta nueva variedad, en cuanto a su color oscuro está controlado por un solo gene, que es dominante. En las condiciones originales la variedad *betularia* estaba protegida contra las aves insectívoras, pero en el ambiente moderno tan contaminado por el polvo de carbón, la variedad *carbonaria* está mucho mejor enmascarada. Algunos ornitólogos dudaron que los pájaros fueran capaces de capturar palomillas en reposo, pero Kettlewell y colaboradores lograron hacer las observaciones pertinentes y filmar una película que demuestra que los pájaros realmente capturan y devoran a las palomillas haciéndolo selectivamente.

Estas observaciones representan una comprobación que, cuando ha sucedido una mutación, la selección natural es responsable de su rápida propagación y de su extensión, que está ilustrada por la actual distribución geográfica de las dos variedades. Hay una estrecha correlación entre centros industriales y el alto porcentaje de la variedad oscura. Poblaciones que consisten enteramente de la variedad clara se encuentran únicamente en regiones exentas de grandes industrias en el suroeste de Inglaterra y en Escocia. Aunque muchos lugares del Este de Inglaterra están a gran distancia de centros industriales, se encuentra en ellos un porcentaje sorprendentemente alto de la forma oscura, lo que probablemente se explica por la prevalencia de vientos del suroeste, que llevan las partículas de hollín a grandes distancias hacia el oriente.

Cuando se está ante el fracaso localmente restringido de un insecticida, no debe pensarse a priori que estamos enfrentándonos a una resistencia. Es necesario verificar primero, si el insecticida cumple todos los requerimientos en cuanto a calidad, normas químicas, etc., si la técnica de su aplicación ha sido la adecuada, y si otros lotes de individuos de la misma especie que se combate se han mostrado aún susceptibles al insecticida usado.

Cuando el público en general oye hablar de resistencia, es frecuente que se grabe en su mente el concepto de que se trata de una inmunización ó un acostumbamiento de algunos individuos al tóxico usado, sin tomar en cuenta que los insectos tienen una vida tan breve que no puede ocurrir tal adaptación. Una verdadera resistencia fisiológica puede encontrarse también en insectos adultos recién emergidos de las pupas ó en larvas que apenas han salido de los huevecillos y que aún no han estado en contacto con insecticidas.

Ante casos de poblaciones resistentes y cuando no se había progresado mucho en el estudio del mecanismo de la resistencia, la opinión un tanto generalizada era la de que la resistencia se había producido mediante el uso de insecticidas a dosis subletales como consecuencia de una aplicación defectuosa. Ensayos posteriores en los cuales se expusieron a través de varias generaciones cepas susceptibles de insecto a dosis subletales, permitieron comprobar que no es ésta la causa de la resistencia.

La única posibilidad de explicar el establecimiento de una población resistente de insectos, consiste en la idea de que aún sin aplicación del insecticida ya existen individuos que presentan una resistencia innata al insecticida, y que las aplicaciones de éste van eliminando progresivamente a los numerosos individuos susceptibles permitiendo que los pocos resistentes que sobreviven formen el núcleo a partir del cual se origine una abundante población resistente. Dicho en otras palabras, tenemos ante nosotros un proceso selectivo producido en un ambiente alterado por el hombre, dentro del cual el tamiz selector ha sido cada aplicación del insecticida.

Este proceso de desarrollo de una resistencia ha sido comprobado multitud de veces en el laboratorio, utilizando colonias de insectos, cuyas generaciones sucesivas han sido expuestas al contacto con insecticidas hasta llegar a la obtención de una cepa altamente resistente. Cuanto más grande es la mortalidad, obtenida con dosis altas de insecticida en las generaciones tratadas, tanto más rápida se hace la selección. Aunque depende de la fuerza de la selección la velocidad con que se establece la resistencia, el nivel de ésta obtenido por último será siempre el mismo

Es obvio que la posibilidad del establecimiento de una resistencia en un insecto existe solamente cuando hay individuos dentro de la especie que poseen de suyo un gene ó genes que determinan su resistencia. Queremos apuntar aquí el hecho de que no se conoce ningún caso en el cual el insecticida haya inducido una mutación hacia la resistencia y que tampoco pudo incrementar la frecuencia normal de mutación. Afortunadamente y dentro de la medida de los conocimientos actuales, no todas las especies presentan tales individuos resistentes, y es así como la lucha contra muchas plagas puede continuarse indefinidamente por medio de la substancia química respectiva.

Es en los últimos diez años cuando se ha acumulado mayor información sobre casos de resistencia

particularmente en insectos que constituyen problemas de salud pública, lo que ha instigado el fomento de las investigaciones sobre el mecanismo fisiológico y bioquímico de la resistencia.

La resistencia de *Musca domestica* a DDT y sus análogos consiste principalmente en una detoxificación del insecticida por la acción de una enzima, la dehidroclorinasa, pero no se encuentra el mismo bioquimismo en los casos de resistencia a otro grupo de hidrocarburos policlorados como son los compuestos cíclicos hexaclorociclohexano, clordano, dieldrín, etc.; no debe esperarse de antemano que el mecanismo fisiológico de la resistencia sea siempre idéntico para diversas especies y contra distintos insecticidas.

La explicación al hecho de que la *Musca domestica* se haga tan fácilmente resistente al DDT, se encuentra quizás en el mecanismo genético fundamental de éste caso, en que la resistencia se debe a un solo gene. La resistencia de la *Musca domestica* al hexaclorociclohexano, y al chlordane, sin embargo, se basa en otro mecanismo genético que la que existe al DDT, y se debe probablemente a más de un solo gene. La resistencia de *Anopheles gambiae* al Dieldrín, se debe, según los estudios de Davidson, a un solo factor genético que no es dominante ni recesivo; la de *A. sudaicus* al DDT se debe a un solo gene de carácter recesivo, y la resistencia de *Aedes aegypti* al DDT, es también monofactorial. En la resistencia de *Anopheles sacharovi* a DDT a Dieldrín, probablemente están involucrados múltiples genes.

Tanto para el entomólogo encargado de combatir plagas, como para el químico ocupado en la búsqueda de nuevos insecticidas, es de gran importancia el conocer ó prever si una especie se puede inclinar hacia la resistencia. Según la especie de insecto de que se trate, se usan diferentes técnicas de prueba para medir su susceptibilidad a un insecticida determinado o sea, viceversa, su grado de resistencia. Se exponen lotes del insecto respectivo a distintas dosificaciones y se observa el porcentaje de mortalidad. Para obtener la más exacta representación de la susceptibilidad se determina la dosis media letal o sea la DL_{50} (*dosis letal* 50) que mata el 50% de los animales, aunque al técnico le interesa más una DL_{90} , que nos dice mejor qué dosis se necesita para acercarnos a un éxito completo en el combate de la plaga.

En la determinación de la DL_{50} está presente la variabilidad que hay alrededor de este valor medio y tanto más cuando se usa un método que toma en cuenta la distribución de la frecuencia de los valores observados. En la actualidad se usa generalmente el análisis-probit, valiéndose en una representación gráfica; sobre la abscisa se registran las dosis (transformando los valores lineales en logaritmos), y sobre la ordenada el porcentaje de mortalidad, resultando los "valores probit" cuando se han involucrado las desviaciones standard.

Cuando los valores observados se sitúan en tal diagrama, puede trazarse la línea de regresión, recta que conecta los puntos marcados, y es fácil leer la DL_{50} , que para fines de comparación es el valor más útil. Pueden compararse la susceptibilidad de dos especies, ó la susceptibilidad de cierta población de un insecto, capturada en un lugar donde se practicaron muchas aplicaciones de cierto insecticida, con la susceptibilidad básica que fue determinada previamente.

La DL_{50} , sin embargo, es únicamente una expresión de lo que ha sucedido y no nos indica nada sobre lo que sucederá, no nos dice nada si los individuos que componen la población local de una especie son muy variables respecto a la susceptibilidad. Pero la pendiente de la línea trazada en el diagrama del análisis-probit, nos indica si el material probado es más ó es menos homogéneo. Cuando el grado de inclinación es moderado, esto nos dice que hay gran variabilidad sobre la cual puede actuar la selección. Las líneas de la log dosis-mortalidad registradas para los hidrocarburos clorados, que en general provocan fácilmente una resistencia, se caracterizan por su pendiente moderada. Cuanto más homogénea se muestra, debido a la selección, una población que va hacia la resistencia, tanto más tienden a hacerse perpendiculares sus líneas de regresión.

* * *

De entre las noticias que se tuvieron sobre insectos resistentes, los casos más impresionantes fueron los fracasos sufridos con el empleo del DDT en 1947 y los años siguientes, contra la omnipresente plaga de la mosca doméstica. Me tocó ser espectador de varios de estos casos después de haber combatido las enormes plagas de moscas en varios establos lecheros de los alrededores de esta capital, siempre con el más rotundo éxito. En ese año efectuamos en algunos otros establos, que nunca habían sido rociados con insecticidas y situados a pocos kilómetros de distancia de los anteriores, unos rociados de DDT a título de ensayo. Los resultados obtenidos fueron mucho mejores que los logrados en los establos que regularmente habían sido rociados, pero de ninguna manera tan satisfactorios como los conseguidos cuando se inició el combate de las moscas utilizando DDT.

Como posible explicación de este fenómeno se me ocurrió la idea de que podría tratarse de una invasión de moscas ya resistentes que procedían de las localidades vecinas rociadas. Esta invasión pudo haber sido facilitada por los vientos, o particularmente por la costumbre de depositar en el campo el estiércol recogido diariamente en el establo. Este estiércol podía haber llevado consigo huevecillos y larvas de las moscas resistentes. Al emerger los adultos, gran parte de ellos se dirigió, probablemente, a otros rumbos diferentes al de origen, llegando en esta forma a los establos nunca tratados con insecticida; en estos se mezclaron y entrecruzaron con las moscas susceptibles del lugar.

No tuve oportunidad de comprobar esta hipótesis, pero se hallaba apoyada en el conocimiento del gran radio de dispersión que tienen las moscas; Bishopp y Lake (1921), capturaron moscas marcadas hasta 20 km. de distancia del lugar donde fueron soltadas; y Brown (1958), cita un trabajo del entomólogo ruso Leviev (1959) quien trasladó y soltó un lote de moscas urbanas resistentes en una aldea nunca tratada con DDT, obteniendo cierto grado de resistencia de las moscas en ésta, al cabo de una sola generación.

* * *

Hemos discutido anteriormente cómo las aplicaciones de un insecticida pueden llevar consigo una selección de individuos que difieren en cuanto a su susceptibilidad a la acción tóxica de éste, y cómo en consecuencia de esta selección, se establecen cepas o poblaciones con resistencia fisiológica. Pero una selección, y otra vez las aplicaciones del insecticida formando el factor seleccionante, puede actuar también sobre individuos de distintos hábitos o sobre individuos que reaccionan de distinta manera ante el insecticida.

Queremos, como ejemplo de una selección de individuos de hábitos distintos, discutir el caso de especies anofelinas que no son netamente endófilas ni netamente exófilas. Muchos mosquitos entran a las casas en busca de su alimentación con sangre, o también para refugiarse allí, particularmente durante el tiempo de digestión y crecimiento ovárico (reposo prolongado de los mosquitos endófilos). Mosquitos exófilos en cambio, se esconden fuera de las casas entre la vegetación sobre el suelo, en malezas, en las copas de árboles, entre las piedras de una barda, etc. Podemos poner como ejemplo el caso de que dentro de una población semiendófila de cierto anofelino hubiese individuos de constitución genética diferente, unos con tendencia exófila más marcada y otros, por el contrario con tendencia endófila más acentuada. Los rociados intradomiciliarios, por supuesto serían más eficaces contra éstos últimos, tanto que podría plantearse el hecho de que tal parte de dicha población pudiera llegar a ser erradicada; el resultado final sería el de que la población se presentaría ahora mucho más o hasta netamente exófila. Semejante cambio fue observado en la Isla de Reunión, en el Océano Indico, por Hamon y Dufour en 1951 (citado por Brown, 1958), donde después de una campaña de rociados domiciliarios con DDT, *A. gambiae* se presentó netamente exófilo y selvático. Este cambio probablemente lleva consigo también otro, del antropofilia al zoofilia, ya que los mosquitos exófilos encontrarán su fuente de alimentación más en los animales que en los humanos, y frecuentemente en el ganado de pastoreo. El proceso selectivo que resulta en esta presentación de una población casi netamente exófila y zoófila, probablemente ha trabajado más sobre dos distintas formas preexistentes de una especie que sobre individuos de cierta cría.

Es evidente, tanto por varias observaciones en el campo como por los experimentos de laboratorio, que varias especies de mosquitos son excitadas al contacto con DDT, y son estimuladas a volar, y que bajo ciertas circunstancias estos vuelos de excitación pueden dar por resultado una reacción de huida, siendo repelidos los mosquitos de las superficies tratadas con DDT y de las casas, antes de adquirir una dosis letal.

En el caso de que algunos mosquitos, en razón de su constitución genética, fueran más irritables que la mayoría de la población, esos individuos más irritables podrían ser más inclinados a huir de casas tratadas, antes de haber adquirido una dosis letal de DDT, que los menos irritables, los cuales descansarían sobre paredes y otras superficies tratadas durante tiempo suficiente hasta obtener una dosis letal.

Partiendo de los individuos más irritables que sobreviven, puede desarrollarse, por su proceso de selección a través de varias generaciones cuando son sometidas a la presión del insecticida, una cepa de mosquitos caracterizada; por su propensión a evitar el efecto del DDT aplicado en las casas, de manera que análogamente al conocido proceso del establecimiento de una resistencia fisiológica, puede desarrollarse una población que se distinga por su resistencia por conducta.

Tal posibilidad fue tomada en consideración por primera vez por Trapido (1952, 1958), quien estudió el efecto del rociado residual de DDT en casas, sobre *Anopheles almibanus*, en dos aldeas de Panamá. Después de 8 años

de practicar 3 aplicaciones anuales, Trapido no observó la misma disminución muy notable del número de mosquitos, como anteriormente después de la primera operación de rociado. Hubo mayor número de sobrevivientes y en particular de hembras repletas, las cuales estaban muy raramente posadas sobre superficies tratadas, sino fueron frecuentemente encontradas sobre objetos no tratados, tales como ropa colgada en las paredes, o volando alrededor de una lámpara. Las observaciones de Trapido señalaron hacia un cambio de conducta ocasionado por las repetidas aplicaciones del insecticida residual.

Ciertas evidencias posteriores fueron suministradas por Brown (1958), quien evaluó la irritabilidad de algunas poblaciones de *Anopheles albimanus* de Panamá, registrando para cada mosquito el tiempo de contacto con depósitos de DDT (papel impregnado con DDT) necesario para provocar la respuesta de vuelo. Brown encontró que *A. albimanus* procede de las dos aldeas donde Trapido había hecho sus observaciones, fueron realmente más irritables que aquellos procedentes de una aldea en donde nunca se había usado DDT y observó el menor grado de irritabilidad en mosquitos tomados de una colonia de *A. albimanus* del Gorgas Memorial Laboratory. Estas pruebas, aunque apoyan la posibilidad del establecimiento de una resistencia por conducta, no presentan una demostración directa del desarrollo de una cepa resistente, porque no sabemos el grado de excitabilidad de *A. albimanus* en las poblaciones de Panamá antes del comienzo de las operaciones de rociado.

Mis colaboradores A. Barrera, O. Mancera y J. Hernández Corzo, han trabajado últimamente sobre la excitabilidad de tres especies de anofelinos mexicanos al contacto con DDT. Hemos elaborado diferentes técnicas de pruebas y métodos de evaluación para el estudio cuantitativo de este problema, y como resultado principal hemos encontrado hasta ahora que tanto las especies como los sexos y las condiciones fisiológicas, por ejemplo usando hembras en ayunas o hembras repletas de sangre, difieren mucho en cuanto a su excitabilidad. Aunque este estudio cuantitativo de la excitación, así como las investigaciones sobre las reacciones de evasión del insecticida y los tropismos que guían a los mosquitos excitados hacia afuera de casas rociadas, están conectados al problema de resistencia etológica, nosotros los realizamos aún más con el fin de obtener mayor claridad sobre los mecanismos de repelencia por insecticidas, y queremos tratar por eso este tema en otra ocasión.

* * *

En la introducción de esta ponencia y al describir el melanismo industrial en los lepidópteros, hemos citado la bien fundada opinión de Kettlewell de que el análisis de este fenómeno dio una evidencia directa, que en vida de Darwin faltó, sobre la teoría de la evolución por la selección natural. De igual modo la resistencia de los insectos a venenos usados en el combate de las plagas es el resultado de un proceso evolutivo que transcurre en muy breve tiempo y en el cual sobrevive, en un ambiente alterado, el que está mejor dotado.

No queremos atribuirnos un gran mérito al aportar estas valiosas comprobaciones, mismas que permiten redondear la teoría de la evolución por selección natural. Queremos al mismo tiempo dar cabida a otro pensamiento. De no haber erigido Darwin hace 100 años su teoría, no estaríamos hoy en la posibilidad de explicarnos tan fácilmente fenómenos tales como el melanismo industrial y la resistencia a insecticidas. No obstante que Darwin careció de la posibilidad de efectuar la observación directa de un proceso evolutivo por selección natural, concibió su teoría en forma magistral. Este hecho agranda ante nuestros ojos su hazaña científica y más nos inclinamos admirados ante la grandeza de quien supo dar a la ciencia un impulso tan capital.

Todos los procesos que se efectúan en el universo desde lo más grande hasta lo más pequeño, y los secretos más profundos e intrincados de la vida, pueden ser averiguados; pero lo que no tiene satisfactoria explicación es el genio humano en su más alto desarrollo, y Darwin fue incuestionablemente uno de sus más grandes exponentes.

BIBLIOGRAFIA

BABERS, F. H., 1949. Development of insect resistance to insecticides, I. U.S. Dep. Agric., Agric. Research Adm. E-776, 31 pp.

_____, y J. J. PRATT, 1951. Development of insect resistance to insecticides, II. U.S. Dep. Agric., Research Adm. E-818, 45 pp.

BARRERA, A., O. HECHT y O. MANCERA, 1959. Investigaciones sobre la excitabilidad de los mosquitos en contacto con DDT. Primer Congreso Nacional de Entomología y Fitopatología, Chapingo, Méx. En prensa.

- ____, Estimación cuantitativa de la excitación producida por el contacto con superficies tratadas con DDT, en tres especies de anofelinos mexicanos. Revista *di Malariologia*. En prensa.
- BROWN, A. W. A., 1958. Insecticide resistance in arthropods. World Health Organization, Monograph Series N° 38, 240 pp. Ginebra, Suiza.
- DE BEER, GAVIN, 1958. El Centenario de Darwin y Wallace. *Endeavour*, vol. XVII, N° 66, 61-76.
- HECHT, O., 1959. Consideraciones alrededor de diferentes tipos de resistencia en mosquitos expuestos a insecticidas de acción residual. Primer Congreso Nacional de Entomología y Fitopatología, Chapingo, Méx., En prensa.
- ____, A. BARRERA y O. MANCERA, 1959. Estimaciones cuantitativas para la comprensión del fenómeno de la resistencia por conducta. Seminario sobre resistencia de insectos contra insecticidas promovido por la Organización Mundial de la Salud en Panamá, R. de P., julio de 1958.
- ____, On the threshold of irritation of anophelines by contact with DDT, and the relation between their irritability and their susceptibility to the knockdown action of the insecticide. En preparación.
- HERNÁNDEZ CORZO, J., A. BARRERA y O. HECHT, 1959 A method for bioassay of the effectiveness of residual spraying. *Mosquito News*, vol. 19, N° 2, 91-94.
- HOSKINS, W. M., 1949. Factors involved in the development of resistance to insecticides and some measure to reduce its effect. *Mosquito News*, vol. 19, N° 2, 52-62.
- ____, y H. T. GORDON, 1956. Arthropod resistance to chemicals. *Annual Review of Entomology*, vol. 1, 89-148.
- KETTLEWELL, H. B. D., 1959. Darwin's missing evidence. *Scientific American*, vol. 200, N° 3, 48-53.
- MÁRQUEZ ESCOBEDO, MANUEL B., 1958. La C.N.E.P., ante el problema de la resistencia de los mosquitos a los insecticidas. *Boletín C.N.E.P.*, Año II, N° 4, 1-2, S.S.A., México, D. F.
- MARTÍNEZ PALACIOS, A., 1957. Pruebas de susceptibilidad al DDT de los anofelinos transmisores del paludismo de la República Mexicana. *Boletín CNEP*, Año I, N° 2, 12-27, S.S.A., México, D. F.
- ____, 1958 Algunos ensayos para obtener los niveles de susceptibilidad de los anofelinos de México. *Boletín CNEP*, Año II, N° 3, 11-17, S.S.A., México, D. F.
- ____, 1958 Resistencia fisiológica al Dieldrín en México de *A. (A.) pseudopunctipennis* Theobald, 1901. *Boletín CNEP*, Año II, N° 3, 18-31, S.S.A., México, D. F.
- ____, 1959. Ecología y resistencia. *Boletín CNEP*, Año III, N° I, 38 40.
- VARGAS, D., A. DÍAZ NÁJERA, G. ROMERO y A. ALMARAZ, 1956. Observaciones sobre pruebas de susceptibilidad de Anopheles mexicanos al DDT. *Rev. Inst. Salub. Enf. Trops.* XVI (3), 39-49