

Lev Jardón Barbolla*

De la evolución al valor de uso, ida y vuelta: exploraciones en la domesticación y diversificación de plantas

Resumen | La diversidad de las plantas domesticadas ha sido de interés para la biología desde el programa darwiniano de investigación. Reconociendo a esa diversidad como un producto de la historia, cabría preguntarse si ésta es un producto estático, ya dado, o antes bien es la manifestación de un conjunto de procesos activos. Entonces se requiere una aproximación dialéctica al estudio de la diversidad agro-biológica. Esto permite visitar una serie de problemas teóricos, incluyendo el de la conceptualización del conjunto de interacciones que permiten que esa diversidad haya sido creada, pero también mantenida a pesar de perturbaciones por otros elementos del sistema. Y también lleva a entender la diversidad en plantas domesticadas desde dos planos entrelazados: 1) el de las consecuencias genéticas del proceso de domesticación y 2) el del espacio social en el que ocurre un tipo de selección artificial capaz de generar una diversidad de valores de uso. Así, es posible construir una hipótesis de trabajo interdisciplinario: que la diversidad en plantas domesticadas no es solamente el resultado de intentar incrementar la magnitud escalar de las cosechas, sino un resultado coevolutivo en el que la producción de diferentes valores de uso, parte de la formación de la diversidad cultural, ha sido clave. Mesoamérica es un espacio idóneo para contrastar esta hipótesis.

From Evolution to Use Value, both Ways: Explorations in the Domestication and Diversification of Plants

Abstract | The diversity of domesticated plants has interested biologists since the Darwinian research program. If we accept diversity as a product of History, it is worthwhile to ask if this is a static product, already finished, or if it is, rather, the manifestation of a series of active processes. Therefore, we require a dialectical approach to the study of agro-biological diversity. This enables us to re-visit a whole set of theoretical problems, including the conceptualization of the combination of interactions that have allowed this diversity to be generated and maintained, notwithstanding the disturbances provided by other elements in the system. It also leads us to understand diversity in domestic plants from two intertwined points of view: 1) that of the genetic consequences of the domestication process, and 2) that

* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. **Correo electrónico:** levjardon@ciencias.unam.mx.

of the social space in which a given type of artificial selection capable of generating a variety of use values takes place. Thus it is possible to build an interdisciplinary working hypothesis: that the diversity in domesticated plants isn't simply the result of trying to increase the magnitude of scale of harvests, but a coevolutionary result in which the production of different use-values, part of the generation of cultural diversity, has been a key element. Central America is an appropriate space for testing this hypothesis.

Palabras clave | domesticación de cultivos – selección artificial – valor de uso – agroecología – evolución – diversidad de cultivos – marxismo

Keywords | crop domestication – artificial selection – use value – agroecology – evolution – crop diversity – marxism

Introducción

ESTE ARTÍCULO PRETENDE aportar elementos para el análisis de la línea de tensión sociedad-naturaleza en el contexto de la domesticación/diversificación de plantas. Al mismo tiempo, se esbozan algunas rutas hacia la formación de un campo interdisciplinario que pueda dar cuenta de mejor manera de los procesos que generan y mantienen la agro-biodiversidad. Al plantear ambas cuestiones busco también contrastar la contradicción que la acumulación capitalista establece con estos procesos como parte de la tendencia de esta acumulación a destruir la diversidad cultural.

Es un hecho conocido que las plantas que la humanidad utiliza en la agricultura, y en sentido más amplio en el manejo agroecológico,¹ no surgieron de la nada. La búsqueda de la comprensión del origen de estas plantas ha sido un tema recurrente para las ciencias naturales desde las obras de Darwin (1859) y De Candolle (1886). Al ser el resultado de un proceso histórico, el origen de las plantas cultivadas guarda una estrecha relación con la distribución de sus parientes silvestres y con una serie de procesos de modificación que fueron operados por la humanidad de manera independiente en diferentes partes del mundo, los Centros de origen de la agricultura y de la domesticación de plantas (Vavilov 1926).

1 Siguiendo a Vandermeer (2011) diríamos que el agroecosistema es un tipo de ecosistema que solamente puede existir cuando la especie dominante (en el sentido de la ecología) es *Homo sapiens*. Sin embargo, yendo más allá del tema del salto en la complejidad que implica un agroecosistema respecto a otros ecosistemas, lo relevante en este punto para nuestro argumento es que el proceso de domesticación/diversificación ocurriría en el marco de una modificación más amplia a escala ecológica, operando en un nivel de organización más inclusivo.

La domesticación es un proceso social-natural, cuyas características la hacen irreductible a los términos de solamente alguno de estos dos extremos. En el proceso que ha originado los cultivos que conocemos y usamos han sido importantes tanto la naturaleza propiamente biológica de las plantas cultivadas como los procesos sociales, económicos y culturales que orientan la domesticación. La interacción de dichos factores hace que una aproximación tradicional, monodisciplinaria al problema resulte insuficiente, incluso para la definición misma de lo que entendemos como proceso de domesticación. Comprender la naturaleza histórica (en el sentido de descendencia con modificación) de la diversidad de los cultivos (manifestación más inmediata de la agro-biodiversidad) y el estudio de la domesticación como un proceso en el que están entrelazados diferentes niveles de causalidad fueron aportaciones centrales de Vavilov que al mismo tiempo fueron pioneras en el camino de la síntesis del darwinsimo y el mendelismo (Shumy 2007).

Planteadas así las cosas partimos de que las plantas que utiliza la humanidad en contexto del cultivo son el resultado de un proceso de cambio, a partir de formas naturales o silvestres que han dado origen, a través de una serie de mediaciones, a las plantas cultivadas propiamente dichas. Ese proceso, ha implicado una serie de cambios que permitieron adecuar o adaptar esas plantas al manejo por parte de los seres humanos. Así, la domesticación ha sido entendida como el conjunto de modificaciones a diferentes niveles derivadas de un proceso de selección que lleva a una mayor adaptación de las plantas y animales al cultivo o crianza por los seres humanos (Gepts 2004). Esta definición permitiría hablar de la domesticación como un continuo y no tanto ya como un estado discreto, es decir las plantas presentan diferentes grados de modificación debido a la acción de los seres humanos, que irían desde meras alteraciones en la dinámica ecológica debidas a la alteración del ambiente, hasta verdaderos síndromes de domesticación (Gepts 2004) que implican modificaciones a nivel morfológico, fenológico, bioquímico e incluso demográfico.

Pero al mismo tiempo, la domesticación entendida como un continuo, no es un acontecimiento puntual que ocurrió en el pasado remoto, no es solamente un fenómeno propio de los inicios de la revolución neolítica. La domesticación como proceso ha permanecido como una constante allí en donde las comunidades agrícolas han estado en condiciones de manejar poblaciones silvestres de plantas interesantes de una u otra forma (sea como alimentos, sea como condimentos, sea como forrajes, como fuente de fibras textiles, etc.), incorporarlas al agro-ecosistema en su forma más amplia e incluso adoptarlas recurrentemente para el cultivo (véase, por ejemplo, Casas *et al.* 2007).

Uno de los correlatos del proceso de domesticación ha sido la diversificación de las formas, particularmente de las plantas cultivadas. Si bien esto puede

ocurrir también fuera de los centros de origen de las plantas domesticadas (en centros secundarios *sensu* Vavilov, 1926), es indudable la relevancia de la diversificación en los centros de origen de la agricultura porque permite reconocer los procesos de cambio desde los parientes silvestres hacia las formas adaptadas al cultivo. Por otra parte, el hecho de que existan múltiples formas cultivadas, más de una variedad adaptada a dicho cultivo, introduce una dimensión adicional a la diversidad biológica.

Así, resulta relevante analizar la dualidad entre domesticación y diversificación, comenzando por caracterizar, así sea brevemente, la forma en la que ésta se presenta en primera instancia, al nivel de los elementos llamativos desde un punto de vista biológico. Estos elementos tienen un primer nivel de manifestación en los organismos: en las especies individuales de plantas domesticadas y la diversidad a diferentes niveles presente en ellas.

Pero en realidad lo que nos interesa es comprender la naturaleza del proceso que ha mediado (y, afirmamos, media) en la evolución —en un corto periodo de tiempo biológico— de esas modificaciones que llamamos domesticación. La selección artificial ha sido un proceso central, característico de la evolución en domesticación, sea que haya ocurrido mediada por el manejo humano del ambiente o directamente por la decisión de qué organismos son dejados crecer, protegidos o incluso sembrados y crecidos (Darwin 1859; Vavilov 1926; Haldane 1924-1934; Harlan 1975; Gepts 2004). Plantear algunas hipótesis en torno a la naturaleza de la selección artificial como proceso inmerso en la producción de la diversidad que toma la forma social-natural de los cultivos es el segundo objetivo de este artículo.

Paradojas en torno a la diversidad

Muchas plantas útiles, pocos cultivos

No hay un acuerdo en la estimación del número de especies de plantas que utiliza la humanidad, aunque una proyección de la FAO (1999a) señala que aproximadamente 30 mil de las 300 mil especies de plantas conocidas en el mundo son o han sido utilizadas por los pueblos del mundo para satisfacer alguna necesidad (desde la construcción hasta la medicina); es decir, alrededor del 10% de las especies vegetales del mundo cuentan con algún uso reportado para la ciencia occidental. Si nos concentramos en el campo de las plantas que han sido utilizadas para la alimentación, la propia FAO lo estima en 7000 (2.3% del total).

Aunque algunos autores (Chappell *et al.* 2013) interpretan esas 7000 especies como el total de plantas que han sido cultivadas alguna vez en la historia

de la humanidad, y otros (Meyer *et al.* 2012) han considerado que el número es de alrededor de 2500 especies, incluyendo tanto cultivos principales como secundarios (desde el punto de vista de su relevancia económica), en realidad son sólo unas pocas especies las que han sido utilizadas sistemáticamente como cultivos. Los cálculos más conservadores estiman que el número de especies que se ha cultivado sistemáticamente y en el que la humanidad ha basado su alimentación en los últimos 3 o 4 milenios probablemente se encuentra más bien en el orden de los cientos de especies (103 especies: FAO 1999b; 100 especies: Diamond 2002; 250 especies: Duarte, Marbá y Holmer 2007). Estimaciones intermedias ubican en 500 las especies domesticadas al punto de poder ser cultivadas sistemáticamente (Harlan 1975; Gepts 2004). Estas plantas, serían las más intensamente modificadas por los procesos selectivos, por cuanto han sido adaptadas en mayor medida al cultivo sistemático, llegando incluso a presentar, como en el caso del maíz, diferentes grados de dependencia de los seres humanos para sobrevivir. De entre ellas, los llamados cultivos principales han sido la base de los estudios sobre síndromes de domesticación (Chappel *et al.* 2013).

El hecho es que de un número relativamente grande de especies útiles para la alimentación solamente una proporción relativamente reducida (500 de 7000, esto es alrededor del 5-7% del total de las plantas con uso alimenticio potencial) han sido adoptadas al cultivo por la humanidad (figura 1). Resulta, pues, que la domesticación al punto de cultivo no parece ser un hecho demasiado común en términos del número de especies que han demostrado ser susceptibles a ser llevadas hasta este punto. Lo anterior parece indicar que existe un potencial o grado de susceptibilidad para la domesticación de las plantas, dependiendo de la interrelación entre características biológicas de las propias plantas, del ambiente en el que viven y del contexto cultural en el que se desarrollan (Gepts 2004). Más aún, el hecho de que no cualquier planta sea domesticada se ve reflejado en la contribución desproporcionada de ciertos géneros o familias al total de plantas domesticadas; de alrededor de 600 familias de plantas, sólo unas 160 contienen al menos una especie que ha sido domesticada en algún grado (Chappel *et al.* 2013) mientras que algunas familias como *Solanaceae* o *Poaceae* contienen decenas de especies que han sido domesticadas al punto de ser cultivadas sistemáticamente.

Pero el hecho de que sea poco probable que una especie de planta llegue a incorporarse al cultivo tendría además otra vertiente: las relativamente escasas novedades en la panoplia de cultivos que la humanidad ha generado. Así en los últimos 2000 años se han incorporado relativamente pocas especies nuevas al universo de plantas domesticadas (Diamond 2002; Duarte, Marbá y Holmer 2007) e incluso se puede hablar de que casi la mitad de nuestros cultivos actuales comenzaron a ser tales hace más de 4 mil años (Duarte, Marbá y Holmer

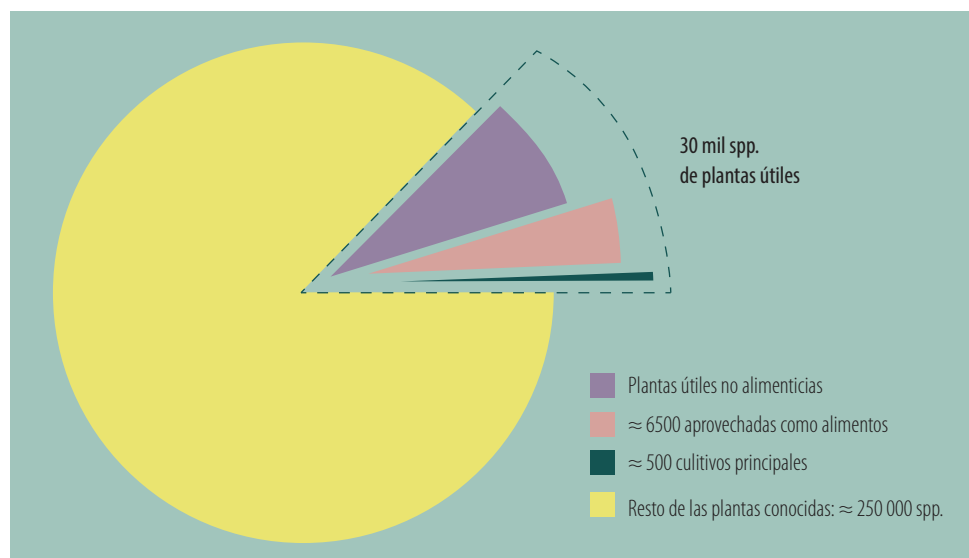


Figura 1. Fracciones del total de la diversidad vegetal para las que se tiene reportada alguna utilidad, uso alimenticio (no necesariamente de forma exclusiva), y domesticación al punto de incorporarse como cultivos principales.

2007) parecería como si una vez agotada esa ventana de tiempo se hubiese cerrado la temporada de incorporación de nuevas especies.²

Esta sería pues la primera paradoja que aparece en la superficie: existiendo miles e incluso decenas de plantas con utilidad reportada, sólo un par de cientos de ellas han podido ser domesticadas. Centrándonos por el momento en sus aspectos biológicos la hipótesis de que existe un potencial de domesticación (Gepts 2004) parece tener sustento.

² Este hecho no debe confundirse con la idea –falsa– de que la domesticación solamente habría ocurrido hace mucho tiempo y que en la actualidad nada acontece. En realidad, para muchas especies lo que ha ocurrido es que su domesticación a partir de poblaciones silvestres se ha dado en múltiples ocasiones a lo largo del tiempo.

La evidencia etnobotánica ha documentado el manejo contemporáneo de diferentes tipos de poblaciones silvestres de plantas que ya habían sido incorporadas en otras regiones al cultivo (Casas *et al.* 2007). Vale la pena señalar también el extremo opuesto, representado por el Género *Physalis* en México, al que pertenece el tomate verde; para esta planta se ha llegado incluso a identificar la incorporación extremadamente reciente de una especie nueva al cultivo comercial, de entre las decenas de especies del género sujetas a uso y manejo humano, *Physalis angulata* (Sánchez Martínez *et al.* 2008).

Una asombrosa diversidad intraespecífica

Una vez que nos concentramos en el relativamente estrecho universo de plantas que han sido domesticadas al grado de poder ser cultivadas sistemáticamente, podemos apreciar que existe una diversidad enorme dentro de cada especie. Así, en el mundo tenemos decenas o cientos de variedades de maíz, arroz, trigo, por citar granos básicos. El grado de variación que es posible encontrar en esas plantas domesticadas es tan grande que para Darwin (1859) resultó sumamente conveniente comenzar la exposición de su teoría a partir de los niveles de variación que hay en estado doméstico como referente para abordar posteriormente la variación en la naturaleza:

cuando observamos los individuos de la misma variedad o subvariedad de nuestras plantas y animales domésticos, una de las primeras cosas que nos llama la atención es que por lo general difieren mucho más entre sí de lo que lo hacen los individuos de cualquier otra especie o variedad en estado natural (Darwin 1859, 7).

Lo que era evidente ya desde la época de Darwin era que algo ocurre con las plantas y animales domesticados, algo hace que existan en ellos niveles de diferenciación fenotípica mucho mayores a los que se observan en estado silvestre. ¿Cuáles han sido los factores que subyacen a esa diversidad? ¿Cómo es que esta minúscula fracción de la biota que ha sido susceptible de ser domesticada ha sido también susceptible de acumular niveles superlativos de diferenciación entre razas, variedades criollas, etc.? Esas son unas preguntas que han capturado la atención de muchos científicos y que en la actualidad son objeto de muchas aproximaciones desde campos muy diversos, incluso aprovechando el desarrollo en las fuerzas productivas que ha significado la secuenciación masiva.

La notable diversidad de formas, colores, hábitos de crecimiento, etc. ha superado ampliamente los niveles más extremos de variación fenotípica observables en las poblaciones silvestres de estas plantas. Así, plantas como el chile o el maíz, crecen a altitudes muy superiores a las que crecen sus poblaciones silvestres, alcanzando en el caso del chile cotas superiores a los 2600 msnm (mientras que las poblaciones silvestres de *C. annuum* var *glabriusculum* se hallan circunscritas a altitudes menores a 1300 msnm; Aguilar Rincón *et al.* 2010) y en el maíz fácilmente se superan los 3000 msnm en milpas y campos de cultivo del altiplano central (mientras que sus parientes silvestres del género *Zea* se distribuyen en tierras bajas). Y al mismo tiempo tenemos que se alcanzan por igual extremos en la variación morfológica y fisiológica que trascienden los límites vistos en la naturaleza, hecho compartido con otros procesos de domesticación como el del perro, especie en la que el espacio de variación morfológica del cráneo supera ampliamente no sólo aquélla del lobo, sino que en algunas dimensiones

incluso supera la variación total observada al interior en los demás carnívoros (Drake y Klingenberg 2010).

Esta paradoja se exagera cuando reparamos en el hecho de que esa diversidad morfológica, fenológica, fisiológica y genética se desarrolló en relativamente poco tiempo, en unos cuantos miles de años (figura 2). Los mecanismos genéticos implicados en esta rápida diversificación explican en parte la manera en que ella se dio. Es claro que muchos de los cambios en la arquitectura de las plantas domesticadas están relacionados con cambios en genes reguladores o, para usar una acepción más clara, en genes involucrados en redes de regulación (para una revisión véase Pickersgill 2009). El gen *tb1* en el caso del maíz (Doebley *et al.* 1995, 1997) es un caso clásico acerca de cómo modificaciones relativamente sencillas en los niveles de expresión de estos genes están involucradas en cambios dramáticos en la morfología de las plantas.³

Ahora, el hecho de que existan mecanismos genéticos que hacen posible la existencia de procesos de diversificación rápidos, es condición necesaria pero no suficiente para explicar la rápida diversificación. La fracción de tiempo en que ha ocurrido la diversificación de los cultivos no tiene parangón en la naturaleza, pues resulta breve incluso desde el punto de vista del equilibrio puntuado postulado por Gould⁴ e implica que en esa fracción de tiempo debieron operar diferentes mecanismos evolutivos que normalmente operan en escalas de tiempo más grandes. El resultado es que, en pocos miles, quizá incluso en cientos de años, muchos de los cultivos adquirieron diversidad fenotípica, de la cual las formas de los frutos, semillas y espigas es quizá su manifestación más impresionante (de nuevo, los casos del maíz, *Zea mays* —esquemático en la figura 2— y el chile, *Capsicum annuum* en México son paradigmáticos).

Una contradicción: la pérdida contemporánea de diversidad

Siendo éstas, pues, las paradojas de la domesticación, asistimos a un momento histórico peculiar en el que los últimos 100 o 200 años han estado marcados por una

3 Stephen Jay Gould (2009) construyó un argumento interesante a partir de este hecho. Desde su punto de vista se abre la posibilidad de recuperar la metáfora del “monstruo esperanzado” como fuente de variación relevante, de manera que, por ejemplo, la mazorca con múltiples hileras de granos no habría evolucionado por la vía de la acumulación gradual de pequeñas diferencias, sino que habría surgido en un solo paso mutacional.

4 Efectivamente, la teoría del equilibrio puntuado en evolución sostiene que es común que el cambio fenotípico (asociado además a la especiación) ocurra en periodos de tiempo breves en una escala de tiempo geológico, mas no necesariamente breves en términos del número de generaciones biológicas que ocurren dentro de esas decenas o cientos de miles de años, por lo que no necesariamente requiere invocar la ocurrencia de las llamadas macromutaciones. En este caso estaríamos hablando de mutaciones que alteran en el curso de unas pocas generaciones la morfología de una planta.

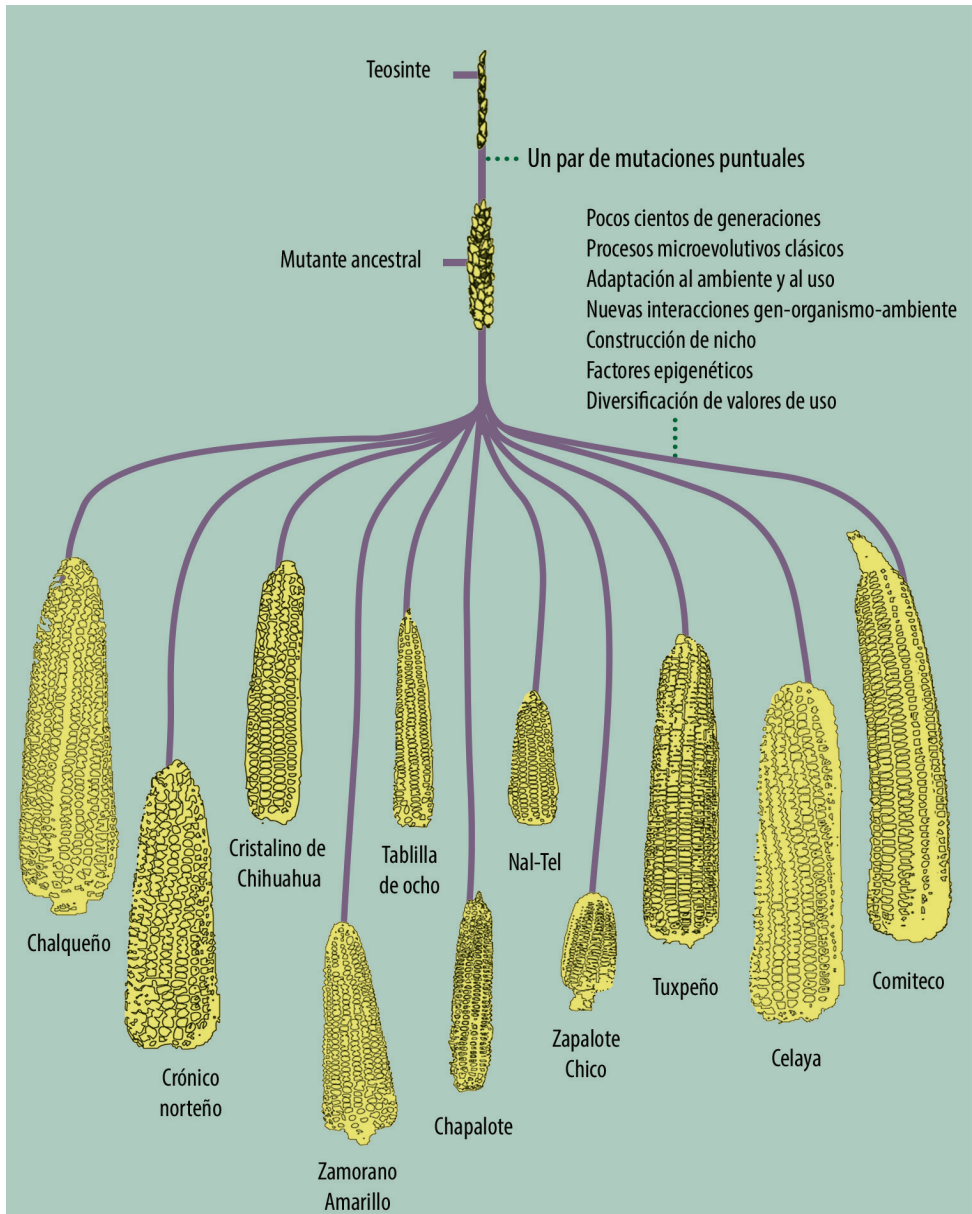


Figura 2. Ejemplo de diversificación de un cultivo desde la domesticación de una planta silvestre. Se utiliza el ejemplo de la diversidad morfológica de mazorcas de maíz en una pequeña parte de las más de 60 razas mexicanas de maíz. Los trazos simplificados de mazorcas de razas de maíces mexicanos fueron elaborados a partir de imágenes del catálogo de maíces mexicanos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, México).

reducción, más o menos sostenida en la diversidad de las variedades, razas y tipos de plantas domesticadas. Esta pérdida de diversidad podría leerse al menos en tres niveles: el de la extinción total de variedades, el de la erosión genética y el del incremento en la dominancia de especies o variedades en la producción agrícola.

En el primer nivel, la pérdida de variedades locales (las llamadas razas criollas o *landraces* en inglés), particularmente a raíz de la llamada “revolución verde” —misma que implicó un incremento sistemático y de aspiraciones mundiales en la capitalización del campo— implica un peligro (señalado ya por Haldane 1946) al disminuir no sólo la diversidad de nuestra base alimenticia, sino también la capacidad de respuesta ante nuevas enfermedades o plagas que pudiesen afectar los cultivos (Fowler y Mooney 1990, citado en McGucken 1991, en Steinberg 1999 y en Brush *et al.* 2003). Existe debate en torno al papel de la introducción de las semillas híbridas o mejoradas como causa de esta pérdida de diversidad⁵ (Steinberg 1999; Brush *et al.* 2003). Sin embargo esta pérdida de diversidad es ampliamente reconocida y señalada como un riesgo importante para la humanidad (Imperial College of Science, Technology and Medicine 2002; Koepfel 2008; FAO 2010; Siebert 2011).

Por otra parte, la erosión genética no implica necesariamente la extinción de especies, pero sí acarrea un decremento en la variación genética presente al interior de un cultivo (FAO 2010),⁶ disminuyendo, al menos potencialmente, su capacidad de adaptación, su resiliencia y su capacidad de respuesta ante nuevas circunstancias ambientales. Alrededor de 60 países reportaban a la FAO en 2010 la disminución en el número de variedades locales, o bien directamente una tendencia hacia la homogeneidad genética en uno o más cultivos comerciales. La FAO (2005) estima que entre 1990 y el año 2000 se perdió hasta 75% de las variedades tradicionales o criollas para varios cultivos, debido al incremento en la superficie cultivada con semillas de alto rendimiento. Se puede discutir si las cifras de la FAO son del todo exactas, pero lo que es claro es que estamos en medio de una tendencia generalizada de homogenización de la producción agrícola y, como discutiremos más adelante, ésta es reflejo de la homogeneidad impuesta por el mercado.

5 Los datos que se han generado en el contexto de este debate son reveladores tanto de la naturaleza de la contradicción entre el capitalismo como sistema y la diversidad, así como de los niveles de interacción que operan al interior del agro-ecosistema. Aunque su tratamiento detallado excede los alcances de este artículo, es importante señalar que, detrás de una aparente contradicción, la permanencia de muchas variedades locales como cultivos de autoconsumo es reveladora del papel de las comunidades campesinas en la conservación.

6 Resulta particularmente asombroso que la FAO hable indistintamente de la pérdida de genes individuales o de combinaciones de genes, cuando en realidad parece referirse a la pérdida de alelos (FAO 2010, 15). La distinción no es menor.

En el plano de la composición de los agro-ecosistemas, la tendencia a la homogeneidad se expresa en el incremento de la dominancia ecológica⁷ de ciertas formas. La extinción completa de ciertas formas de cultivares sería un extremo de este incremento en la dominancia, en el cual algunas especies o variedades de este cultivo se vuelven las preponderantes en el cultivo y —de manera no casual, diremos después— en el mercado mundial. Se estima que apenas 103 especies de plantas aportan el 90% de las calorías que la humanidad consume (Dirzo y Raven 2003). Estas plantas producen además el grueso de las mercancías-especie (usando el término planteado por Prescott-Allen y Prescott-Allen 1990). La pérdida de diversidad en este sentido no tiene que ver solamente con la extinción de variedades sino con el hecho de que unos cuantos linajes, variedades de semillas (en ocasiones híbridas, en ocasiones incluso transgénicas) se han convertido en las más usadas, las predominantes a nivel global (Fowler y Mooney 1990 citados en Boege 2008). Sin embargo, este incremento en la dominancia que ocurre a escala global tiene un correlato en la medida en que, a nivel local o de pequeña escala, el siglo XX podría ser caracterizado como uno marcado por la expansión de distintas formas de monocultivo a expensas de los sistemas de policultivo (como las milpas mexicanas) en los que coexisten varias especies y por ende se mantiene una mayor diversidad no sólo a nivel intraespecífico (por ejemplo, muchas variedades de maíz), sino interespecífico (maíz, frijol, calabaza, chile, tomate, etc. coexistiendo en espacio y tiempo).

El riesgo que esta pérdida implica ha sido el argumento central que ha justificado una serie de esfuerzos de conservación *ex situ* en los cuales el *Global seed vault* es el más famoso y quizá también el más cuestionado. Pero más aún, es tan grande la disminución en la diversidad y el incremento en la dependencia de unas cuantas especies para la dieta urbana moderna, con la consecuente homogenización no sólo de lo que se cultiva sino también de lo que se come que incluso Harris (2012) se ha aventurado a caracterizar a la historia de la agricultura como la historia del proceso de pérdida de diversidad en la alimentación humana:

7 En términos muy generales, en ecología de comunidades, la dominancia se refiere al hecho de que una especie es la más abundante en una comunidad determinada y es al mismo tiempo, la que ejerce una mayor influencia en las características generales del hábitat y productividad de esa comunidad. Desde que el concepto de dominancia fue planteado originalmente por Whittaker (1965), diversos autores han abordado el problema metodológico y conceptual de cómo medir de mejor manera la dominancia (por ejemplo, eligiendo entre el número de individuos o la cobertura vegetal como variables relevantes). Lo relevante para esta discusión es que los monocultivos serían un ejemplo de una comunidad con una dominancia mayor, mientras que en un policultivo, la presencia de individuos de varias especies, al hacer más heterogénea la comunidad (es decir, más diversa), disminuye la dominancia ecológica.

el surgimiento y establecimiento de los sistemas agrícolas del mundo puede ser visto en retrospectiva como un proceso muy gradual en el que, a lo largo del Holoceno, la humanidad se volvió cada vez más dependiente para su alimentación de cada vez menos especies de plantas y animales domésticos, al grado de que hoy sólo tres cereales, el arroz, el trigo y el maíz, proveen la mayor parte de la energía que los humanos obtenemos de las plantas (Harris 2012, 21).

Otros autores, como Wells (2010) terminarían viendo a la revolución neolítica como una especie de maldición, culpable, en sí misma, de los males que aquejan a la salud en las sociedades contemporáneas. Pero hay algo extraño en muchas afirmaciones de este tipo. ¿Cómo sería posible que un proceso que originó una diversidad de formas cultivadas enorme, pueda al mismo tiempo ser caracterizado como un proceso que ha empobrecido la dieta de la humanidad? Quizá la respuesta estriba en que se trata de dos procesos distintos, quizá el incremento en la dependencia de una pocas especies para la alimentación y la disminución de la diversidad no son, como parece desprenderse de la afirmación de Harris (2012), estrictamente graduales a lo largo de todo el Holoceno (últimos 10 mil años); quizá hay un cambio cualitativo que ocurre en los últimos siglos; más aún, es posible que si intentamos caracterizar ese cambio cualitativo, podamos comprender por qué se suceden en primera instancia una diversificación sin parangón en la naturaleza y luego, una pérdida de diversidad intra e interespecífica, de la cual la homogenización de la dieta humana es algo más que un correlato. Para caracterizar este cambio cualitativo, integrado por las continuidades y discontinuidades que se establecen en la domesticación, parece conveniente considerar dos planos de existencia de las plantas domesticadas, buscando las preguntas de por qué solamente un grupo de plantas fue susceptible de ser domesticado y de cuáles son los procesos que han mediado en la generación de la diversidad. Estos planos se entrelazan en la vida real y deberían entrelazarse en los esfuerzos por analizar y comprender esa realidad.

Planos entrelazados de la genética de poblaciones a la dimensión política del valor de uso

Domesticación/diversificación desde la biología

El proceso de domesticación ha implicado una serie de cambios relativamente abruptos en las plantas, incluyendo el pasar por cuellos de botella demográficos (Purugganan y Fuller 2009) que implicaron que solamente una fracción pequeña —incluso por mero azar— de las poblaciones naturales de la plantas de cada especie fuese tomada inicialmente para la formación de las poblaciones de plantas

domesticadas. Estos cuellos de botella, incluso siendo transitorios, han tenido un efecto en la composición genética de las plantas cultivadas (véase, por ejemplo, Van Herwarden *et al.* 2011); revisiones recientes sugieren que la intensidad de los cuellos de botella en la domesticación ha sido variable, siendo menor en plantas perennes, como los frutales (Miller y Gross 2011; Meyer y Purugganan 2013). Al mismo tiempo, los análisis evolutivos realizados para diferentes cultivos muestran que las presiones de selección, tanto natural como artificial, fueron muy intensas y que han dejado una huella en la conformación genética de las plantas domesticadas; el proceso ha sido bien estudiado por la genética de poblaciones desde su origen en los años 1930 (Haldane 1924-1934).

La intensidad de estos procesos de deriva y selección fue de tal magnitud que muchas especies comestibles probablemente no resistirían atravesarlos, lo cual marca una reducción en el universo de plantas en las que los seres humanos pudieron desarrollar la selección artificial. Si bien no es la única característica necesaria, la presencia de variación genética ha sido considerada como un elemento necesario para que la domesticación haya podido ocurrir, lo cual reduciría el universo de plantas con posibilidad de ser domesticadas (Gepts 2004). Desde un punto de vista estrictamente selectivo, la domesticación implicaría la adaptación inusualmente rápida a ambientes nuevos.

La catástrofe ecológica que ha sacudido al planeta en los últimos 300 años, con tasas de extinción nunca antes vistas, indica que una gran cantidad de seres vivos (incluyendo a las plantas) no necesariamente resisten el paso por cuellos de botella o presiones de selección demasiado intensos, corroborando de forma trágica la predicción teórica establecida por Haldane (1957) acerca de la existencia de un “costo de la selección”. Biológicamente, la variación ya presente en las poblaciones silvestres de plantas habría actuado favorablemente, permitiendo el desarrollo del proceso de domesticación (esta variación fue reordenada extensamente en el mismo proceso, véase por ejemplo, Van Herwarden *et al.* 2011) y de hecho sus tamaños poblacionales de las plantas domesticadas tendieron a incrementarse enormemente (por ejemplo, en cada hectárea se siembran decenas de miles de plantas de maíz), permitiendo el surgimiento de más variación y la operación eficiente de los procesos selectivos.

Por otra parte, tenemos que algunas de las modificaciones o adaptaciones al cultivo de las plantas domesticadas resultan contra-intuitivas desde el punto de vista de la sola adecuación⁸ en el sentido biológico. Efectivamente, el llamado

⁸ La adecuación (palabra adoptada en la biología a partir de la traducción laxa del inglés fitness) es la categoría y coeficiente que describe la capacidad relativa de sobrevivencia y reproducción de un fenotipo, en el caso de la genética de poblaciones de un genotipo asociado a un fenotipo en un ambiente determinado. Propia de la ecología y de la genética de

síndrome de domesticación (Harlan 1975; Gepts 2004; Fuller y Allaby 2009) ha implicado en su forma clásica: la pérdida o disminución de la capacidad de dispersión por medios naturales al modificarse por ejemplo, el tamaño y la composición de los frutos; la reducción o pérdida de defensas químicas a través de metabolitos secundarios es un rasgo común en las plantas domesticadas (particularmente interesantes a este respecto serían los casos del tomate verde y del chile en México) que abre el paso a niveles de herbivoría superiores a los observados en la naturaleza; reducción en el número de flores por planta en aras de un número menor de frutos más grandes (ventajoso desde el punto de vista de quien cosecha, desventajoso desde el punto de vista de la fecundidad en sentido estrictamente ecológico); la modificación relativamente rápida de los sistemas de polinización debido a cambios en las características de las flores; pérdida de la capacidad de formar bancos de semillas en el suelo (característica que en la naturaleza permite a muchas plantas germinar solamente una vez que las condiciones naturales son adecuadas).

Muchos de los cambios asociados a la domesticación han implicado modificaciones sustanciales en los patrones de historia de vida de las plantas domesticadas, al transitar de ambientes con relativa escasez de algunos recursos como agua o nutrientes, a ambientes en los que la actividad humana incrementa su disponibilidad, modificando el régimen selectivo al que las plantas están expuestas (Denison *et al.* 2009 McKey *et al.* 2012). Este cambio en el ambiente o esta antropización del ambiente, si se quiere, ocurre y ha ocurrido al nivel de las modificaciones en la composición de los ecosistemas conforme son manejados por los seres humanos (a lo cual se ha llamado a veces “domesticación del ambiente” citado en McKey *et al.* 2012); este manejo, sostendremos más adelante, forma parte de un proceso más amplio, en el que también encontramos a la selección artificial. En el contexto del cultivo, las modificaciones asociadas a la domesticación han sido mediadas de manera importante por el proceso de selección artificial que, entre otras cosas, ha moldeado la composición genética de las poblaciones de plantas domesticadas. Ahora, si bien el proceso de selección artificial es similar al de selección natural, por lo menos en sus consecuencias, y ello posibilita usar el mismo aparato matemático para estudiarlo, parece haber algo más, un cambio cualitativo que justifica la existencia de una categoría tal como la selección artificial. Si bien la diversidad de formas cultivadas refleja

poblaciones esta categoría denota la contribución relativa promedio de un cierto tipo de organismos de una población (agrupados por su fenotipo o genotipo) a la siguiente generación; en el caso de la genética de poblaciones puede verse como la contribución relativa promedio de un genotipo a la población de genes (pool genético) de la siguiente generación. La adecuación es una propiedad estadística, no determinista, que por tanto tiene sentido sólo en un contexto poblacional.

en parte la diversidad ambiental,⁹ la diversidad biológica de las razas criollas parece ir más allá de la adaptación biológica, al menos en su sentido más reduccionista (i.e. como adaptación a un medio externo como resultado de la selección natural). Ha habido un límite y no se alcanza a explicar la variación como resultado de la pura selección natural en función de variables ambientales. Para algunos autores la selección artificial sería un mero caso particular de la selección natural en el que los seres humanos seleccionan en función de un solo criterio, el incremento en la cosecha, mediado porque una planta pueda desarrollarse bien a una cierta altitud, condiciones de humedad, etc. Si esto fuese así, la agro-biodiversidad sería un simple correlato de la diversidad de variables del medio físico. Desde esa perspectiva la selección artificial sería solamente un proceso de adaptación a un ambiente antropizado o bajo manejo humano entendiendo este manejo como un mero cambio en las variables del medio físico, heredando así un concepto de ambiente cuyas raíces podemos trazar a la obra de Darwin y a la separación que él hizo del organismo y el ambiente como entidades completamente separadas. Este paso significó en 1859 una revolución conceptual, pero como han señalado diferentes autores (Lewontin 2000; Odling-Smee *et al.* 2003; Jablonka y Lamb 2006) no necesariamente se ajusta a lo que sabemos hoy en día sobre las diversas líneas de interacción entre el organismo y el ambiente.

¿En función de qué otra cosa se selecciona cuando se hace selección artificial? Si se hace tabla rasa de la historia, el único criterio de selección aplicado por los seres humanos habría sido desde siempre el incremento de la magnitud de las cosechas. Si bien la selección a favor de un incremento en las cosechas debió ocurrir (nadie en su sano juicio sembraría un campo para no poder cosechar nada), suponer que es lo único que ha ocurrido corresponde con un discurso ideológico que en realidad nos diría que la mercancía propiamente capitalista ha sido la única forma de existencia material y que el valor de cambio —magnitud escalar— subsumiría desde siempre al valor de uso. ¿Ha sido realmente así?

Valor de uso y cultura

Pero al mismo tiempo aparece otra dimensión sin la cual es imposible comprender el proceso de domesticación y en ello estriba la relevancia de un enfoque interdisciplinario. Incluso la actividad más temprana de las sociedades de cazadores y recolectores implicó modificaciones al medio ambiente. Desde un punto de vista estrictamente naturalista parecería que esas modificaciones solamente

⁹ Y con ello una diversidad de formas de manejo del agro-ecosistema, asociadas a diferentes modos de organizar la producción y como parte del desarrollo de la propia diversidad cultural.

implicaron un cambio cuantitativo por el grado en el que afectaron ese ambiente y en el que, por ejemplo, se favoreció (y se favorece) la proliferación de ciertas plantas que habían evolucionado durante millones de años como ruderales;¹⁰ así, al incrementarse el grado de perturbación por parte de la actividad humana, esas plantas tendieron a proliferar cerca de los seres humanos y éstos a su vez tendieron a fomentarlas. Este fomento o promoción consciente del crecimiento de una planta es clave en la definición de lo que los agrónomos llaman una planta arvense, condición en la que es común encontrar poblaciones de plantas como chiles (*Capsicum annuum*), tomates verdes (*Physalis philadelphica*), quelites (*Chenopodium* sp.) etc., a veces incluso como parte de gradientes o procesos contemporáneos de domesticación (por ejemplo Casas *et al.* 2007). La evolución de las plantas domesticadas en ambientes bajo la influencia humana ha sido categorizada correctamente como un proceso coevolutivo (Diamond 2002; Purugganan y Fuller 2009); esta coevolución ocurre en el marco de agro-ecosistemas complejos, entre los cuales las milpas mexicanas son quizá uno de los mejores ejemplos.¹¹

Lo que distinguiría estas modificaciones ambientales ocasionadas por el ser humano no sería solamente su intensidad o magnitud, sino el hecho de que al realizar estas perturbaciones, incluso al nivel de la caza y recolecta, los seres humanos llevan a la realidad un proyecto de sí mismos, lo cual permite hablar de un *telos*, de una intencionalidad, de un propósito propiamente dicho en la actividad del animal humano como señaló Marx en los manuscritos de 1844, esto que no está presente en otros procesos evolutivos. Este elemento es importante, pues si bien todos los seres vivos llevan a cabo la construcción de su nicho al integrar a través de procesos fisiológicos las variables del ambiente (tanto físico-químicas como de orden biótico) y al modificar a través de su propia acción ese mismo medio, en el caso del manejo humano de los agro-ecosistemas la existencia de un propósito, de una búsqueda por reproducir la propia identidad de las colectividades humanas se constituiría en una dimensión o propiedad emergente del sistema. Habría pues, una relación de conti-

¹⁰ Plantas que tienen una distribución discontinua en tiempo y espacio, que proliferan en lugares donde ocurre una perturbación, sea natural (incendios, caídas de árboles viejos, relámpagos, etc.).

¹¹ “A diferencia de la agricultura industrial a gran escala, que produce sus monocultivos en grandes extensiones y terrenos planos preferentemente con riego, la mayoría de los productores de milpa cultivan sus terrenos en unidades de menos de cinco hectáreas, en la montaña y con un sistema de temporal sujeto a las vicisitudes del clima y de las plagas. Para asegurar la cosecha, la agricultura mesoamericana no desarrolló grandes sistemas de riego ni monocultivos. Su principal estrategia productiva fue “botánica”, en el sentido de desarrollar las variedades de una misma planta para enfrentar cualquier contratiempo, y a su vez asociarlas con otras especies.” (Boege 2008, 42).

nidad/discontinuidad respecto al fenómeno biológico general de construcción del nicho.¹²

Así, podemos revisitar la selección artificial como categoría clave que permitiría entender el proceso de domesticación y diversificación. Efectivamente, las plantas domesticadas se distinguirían no solamente por evolucionar en ambientes manejados por los seres humanos sino porque dicho manejo y selección ocurren, a diferencia de lo que pasa en la naturaleza, con un propósito o *telos* y porque, en la forma en la que se actualiza dicho propósito en cada ciclo de reproducción de la vida social, se gestarían no sólo ciertas toneladas de alimento o mercancías, sino, particularmente en sociedades productoras de valores de uso, formas particulares de consumo.

En ocasiones se homologan los términos “selección artificial” y “crianza selectiva”;¹³ sin embargo algunos autores (Gepts 2002) han señalado que existen, por lo menos distinciones de grado entre el proceso de selección artificial que originó la domesticación durante la revolución neolítica (selección artificial, diríamos nosotros, que hasta cierto punto puede rastrearse como un continuo a algunas comunidades agrícolas contemporáneas), la crianza selectiva “clásica” o mendeliana y la ingeniería genética de fines del siglo XX e inicios del XXI. Sin embargo, incluso estas distinciones resultan incompletas si no se atiende el contexto específico, por ejemplo, de relaciones de producción en las que surgió cada una de estas tres prácticas y cuál ha sido el sujeto social que ha articulado cada una de ellas.

Así, los estudios recientes sobre la genética y genómica de la domesticación

12 La construcción de nicho en términos muy generales es el proceso mediante el cual los diferentes organismos vivos integran de una manera particular las diferentes condiciones ambientales que enfrentan (lo cual implica que cada uno responde de manera diferente al mismo conjunto de variables del medio externo) y al mismo tiempo, a través de su acción a diferentes niveles (ecológico, fisiológico, etológico) genera modificaciones en esas condiciones ambientales. Esto puede ocasionar cambios importantes en las presiones de selección que los organismos enfrentan, por lo que la relevancia de la construcción del nicho en la evolución no debe subestimarse.

Autores como Odling-Smee *et al.* (2003) han extendido la línea de argumentación planteada a este respecto por Lewontin (2000), enfatizando los elementos de continuidad que existirían entre la construcción de nicho y la formación de cultura entre los seres humanos. La discusión detallada de este planteamiento de Odling Smee *et al.* (2003), no es el objetivo central de este artículo; en lo sucesivo me centraré en los elementos de discontinuidad o propiedades emergentes que aparecen en la formación de cultura y que es necesario incorporar en el análisis.

13 Ver por ejemplo:

http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Artificial_selection.html

http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_breeding

<http://learn.genetics.utah.edu/content/variation/corn/>

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/533167/selective-breeding>

han aportado evidencia interesante acerca de las huellas que dicho proceso ha dejado en el terreno de ciertas adaptaciones a ambientes particulares, así como la detección de regiones del genoma que han estado sujetas a diferentes presiones selectivas (ver por ejemplo, Doebley *et al.* 2006; Van Heerwaarden *et al.* 2011; Hufford *et al.* 2012). Esto ha sido posible gracias a que el desarrollo actual de las fuerzas productivas ha permitido que la capacidad del aparato científico-técnico para generar datos genómicos diera un salto cualitativo debido a la introducción de tecnologías de secuenciación masiva (Mardis 2008; Glenn 2011). El paso a utilizar dichas tecnologías para analizar los patrones de variación genética neutrales y selectivos en organismos domésticos ha sido casi inmediato (Tang *et al.* 2010; Groennen *et al.* 2012; Hufford *et al.* 2012) y ha utilizado diversas herramientas estadísticas sólidas que permiten ubicar correlaciones, patrones debidos a procesos neutrales, patrones de disminución en la variación debidos a procesos selectivos e incluso ha habido una búsqueda por sondear la asociación de variantes genéticas a condiciones ambientales particulares (Ross Ibarra *et al.* 2007).

Sin embargo, la genética de poblaciones contemporánea ha abordado sólo de manera superficial el papel de la selección artificial asociada a la producción de valores de uso específicos como agente causal de parte de la diversidad encontrada a diferentes niveles en las plantas domesticadas. No es posible entender cabalmente las diferencias cualitativas que planteó desde un primer momento la selección artificial si se le considera como un mero exacerbamiento del proceso de reproducción y sobrevivencia diferencial que se observa en la naturaleza, si se le considera, digamos, un mero caso particular de la selección natural. La selección artificial ocurre en el contexto de un proceso de orden distinto, el trabajo, y forma parte de la conformación de un mundo propio por los seres humanos tal que cuando no se da de manera enajenada alcanzaría su mayor potencial creativo y su carácter propiamente humano (Marx 1844). En ello radicaría el carácter propiamente político de la domesticación y diversificación de las plantas.

En el proceso de selección artificial ha jugado un papel central la formación de valores de uso diversos, y esta formación de valores de uso ha tenido, usando la categoría de Bolívar Echeverría, una “dimensión política” (Echeverría 1998; 2001), por cuanto en ese proceso se ha gestado la diversidad cultural. Partiríamos de la hipótesis de que las comunidades agrícolas no seleccionan únicamente las plantas en función de una magnitud escalar (la cantidad de toneladas por hectárea que se pueden obtener), sino también en función de una dimensión compleja que tiene que ver con la forma en que se pretende realizar el consumo. Así, el proceso de selección artificial puede verse desde una perspectiva dialéctica como un proceso vivo, que mantiene activamente —y no de una manera

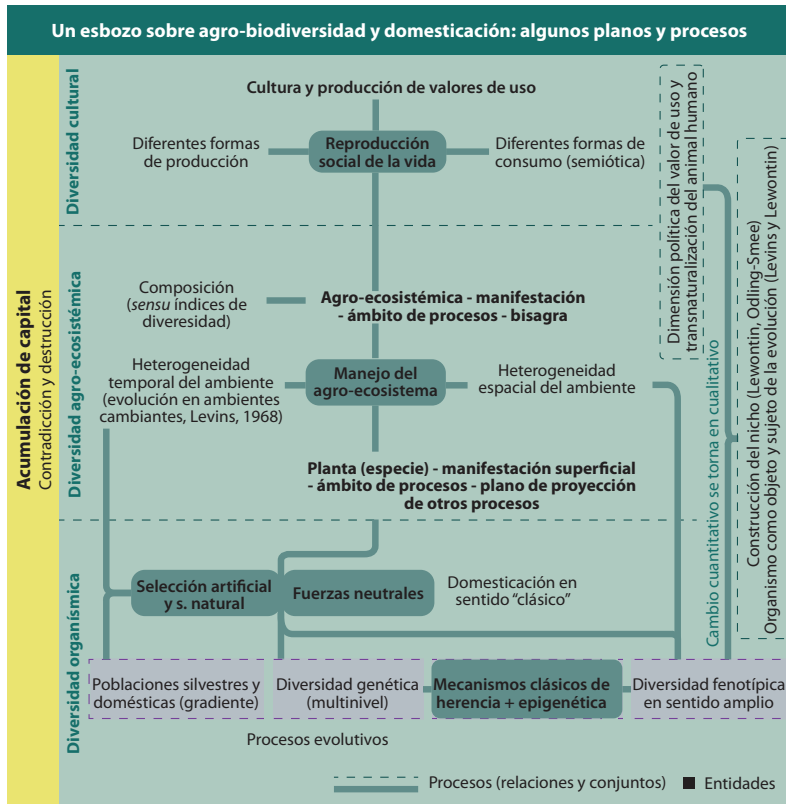


Figura 3. Esbozo de un marco conceptual interdisciplinario que abarcaría diferentes planos en los que ocurre la diversidad agro-biológica y algunos de los procesos o líneas de tensión que vinculan estos planos. La acumulación de capital es un proceso que establece una relación de destrucción y/o de refuncionalización de esos planos de existencia, lo que ha dado como resultado histórico una destrucción de la diversidad en cada uno de ellos. Se indican las referencias a algunos trabajos que han abordado algunos procesos especialmente significativos desde el punto de vista biológico.

esencialista o estática— la diversidad de razas, variedades y formas cultivadas de diversas plantas (figura 3). Si bien los procesos selectivos tienen una huella o consecuencia genética, no puede reducirse la causalidad de dicho proceso a la sola genética (Gould 2001b). La diversidad de un maíz o chile en la Península de Yucatán, no estaría dada solamente por la adaptación a condiciones ambientales locales (siendo estas comparativamente homogéneas en esa península) sino que podemos conjeturar que estaría asociada con los distintos tipos de valores de uso cuya formación subyacería como causa histórica de la diversidad y se trenzaría con diferentes niveles de diversidad biológica y cultural:

producir y consumir transformaciones de la naturaleza resulta ser, simultáneamente y sobre todo, ratificar y modificar la estructura concreta de la socialidad. Dos procesos en uno: en la reproducción del ser humano, la reproducción física de la integridad del cuerpo comunitario del sujeto sólo se cumple en la medida en que ella es reproducción de la forma política (*polis*) de la comunidad (*koinomía*) (Echeverría 1998, 167).

Si esto es así, incluso la aplicación de las técnicas estadísticas propias de la genómica de poblaciones —yendo más allá de la tradicional búsqueda de correlación de la variación genética con variables ambientales relativamente obvias, esto es incorporando como datos relacionados por ejemplo con la forma de consumo o las prácticas de manejo asociadas a un cierto cultivo—, podría resultar en explicaciones menos reduccionistas del origen de la diversidad en los cultivos. Ello podría ser un punto de partida para comprender la forma en la que la diversidad cultural y la diversidad agrícola han “venido a ser” juntas, que es otra forma de decir, un punto de partida para comprender las particularidades del proceso de coevolución de los seres humanos y sus agro-ecosistemas.

Esto hace posible plantear que, al seleccionar determinadas plantas para el cultivo de un año a otro, las comunidades agrícolas (es decir, no siempre *farmers* del medio oeste de EEUU ni siempre compañías productoras de semillas) seleccionaron no solamente características que garantizaban una mejor sobrevivencia del cultivo en una condición ambiental determinada (incrementando con ello volúmenes de cosecha), sino que han gestado diversas identidades, diversas culturas en las que la pertinencia de una variedad local estaría dada no solamente por su adaptación a una condición climática dada, sino por su pertinencia respecto a cierta forma de consumo.

El consumo produce a la producción de dos maneras: 1) en tanto el producto se hace realmente producto sólo en el consumo. Un vestido, por ejemplo, se convierte realmente en un vestido a través del acto de llevarlo puesto; una casa deshabitada no es una verdadera casa; a diferencia del simple objeto natural, el producto se afirma como producto, el consumo le da el *finishing stroke* [la última mano] pues el resultado de la producción es producto no en tanto actividad objetivada, sino sólo como objeto para el sujeto actuante; 2) en tanto el consumo crea la necesidad de una nueva producción y por lo tanto el móvil ideal de la producción, su impulso interno que es su supuesto (Marx 1997 [1857], 41).

La producción de valores de uso en el contexto de las comunidades campesinas tendría que ver justamente con esta naturaleza acoplada de los procesos de producción y consumo. Los criterios de selección de semilla y de manejo de los agro-ecosistemas como sistemas productivos se darían en función no solamen-

te de incrementar la masa de bienes de consumo disponibles, sino que han estado orientados también por la necesidad de crear valores de uso específicos, adecuados a cierta forma de reproducción de la vida social, una reproducción de la vida social que por supuesto no es una repetición mecánica o una copia fiel sino que cambia en el tiempo.

Esto incide en el plano de la formación de la diversidad de los cultivos generando una multiplicidad de formas, sabores, colores de las partes útiles, texturas, etc., diversidad que es generada y mantenida como parte de la necesidad humana de satisfacer no solamente una necesidad fisiológica o de ingesta calórica, sino también la creación de un mundo o cosmos propio, una habitación propia (usando la expresión de Gould 2001a). Las distintas maneras de usar un producto del campo y las diferentes variedades de cultivos, surgieron juntas, como resultado del proceso transformador, cultural, llevado adelante por muchas comunidades. El eje que atraviesa este proceso es la creación de valores de uso propios. Así, junto a cada cultivo se diversificó la comida, el baile, la música, la propia vida humana, y surgió al menos parte de la diversidad cultural.

En el proceso de reproducción humana estas sustancias aparecen, sin embargo, obligadas a ofrecer una determinada forma. Si el conjunto de sustancias alimenticias no estuviese ordenado de una determinada forma, preparado de una determinada manera, si no hubiese satisfacción no sólo del aspecto físico sino sobre todo de la forma, de aquello que subordina lo físico a lo político; si no satisficiese este requerimiento aparentemente ocioso, no podría cumplir la función a la que está destinado desde la perspectiva meramente funcional o fisiológica (Echeverría 2001, 166).

Evidencia arqueológica reciente ha mostrado un uso y manejo temprano de plantas como condimento (Saul *et al.* 2013). Así hace unos 6000 años localidades de la costa norte de Europa, donde apenas se estaba dando la transición de sociedades cazadoras recolectoras a grupos agricultores, y por ende el proceso de domesticación era incipiente, existía ya un uso importante de una especie como *Alliaria petiollata* (Saul *et al.* 2013). Esto querría decir que, incluso en etapas de transición, en las que la escasez real de alimentos podría haber sido un factor muy relevante en la organización de la producción, los grupos humanos buscaban ya la satisfacción de estos requerimientos aparentemente ociosos de los que hablaba Bolívar Echeverría (1998; 2001) y que aún en esta etapa temprana sería correcta la afirmación de que la producción/consumo de objetos útiles es al mismo tiempo producción/consumo de significaciones.

Por otra parte, tenemos que una revisión reciente (Meyer, DuVal y Jensen 2012) encontró que el rasgo más frecuentemente modificado en las plantas

domesticadas es la producción de metabolitos secundarios (habiendo ocurrido en el 66% de las plantas que analizaron Meyer y colaboradores), incluso por encima de los elementos clásicos del síndrome de domesticación (como la retención de las semillas). El hecho es relevante porque los metabolitos secundarios de las plantas, además de desempeñar un papel como defensas químicas ante parásitos y herbívoros, afectan de manera importante las propiedades organolépticas como sabor u olor de las plantas. De nuevo, esta evidencia soporta la hipótesis de que el proceso de domesticación estaría mediado por algo más que el incremento en la magnitud de las cosechas o en el volumen total de comida disponible.

Por último, en el campo de la etnobotánica múltiples estudios han demostrado la prevalencia en algunas localidades de variedades de maíz, que siguen siendo sembradas a pesar de no tener los rendimientos más altos. Si bien una interpretación de este hecho ha sido minimizar el papel de la introducción de variedades comerciales en la pérdida de diversidad (por ejemplo, Bellon 1996). Otras líneas de evidencia, apuntan a que es la relevancia cultural e incluso religiosa que ciertas variedades de maíz tienen para las comunidades locales el factor clave de su persistencia y que es la destrucción de esos elementos culturales lo que ha determinado la desaparición de los campos de ciertas variedades locales de maíz (Steinberg 1999).

Por supuesto, la relevancia de la búsqueda de formas adecuadas al consumo como motor de la diversificación de las variedades domesticadas no implica que ésta haya sido completamente libre en el sentido de que sea posible la generación de cualquier forma cultivada imaginable. Como hemos discutido en la sección anterior, existen una serie de limitaciones biológicas al proceso de domesticación sobre las cuales el trabajo humano establece una suerte de "línea de tensión" entre la variación presente en la naturaleza, sus límites y alcances, y la forma particular que la reproducción humana requiere que la naturaleza tome. Así, la expansión del intervalo altitudinal del maíz de los 0-1300 metros sobre el nivel del mar a los más de 2300 msnm a los que se cultiva el Chile Pasilla Mixe, por citar un ejemplo extremo, estaría mediada no solamente por la necesidad de incrementar la producción o por el efecto aleatorio sobre las condiciones del medio en el que se desarrollan estas comunidades campesinas, sino que sería parte de un proceso de creación y recreación de una identidad cultural propia.

Lo importante de esta hipótesis es que permitiría construir ruta, que se puede trazar a través de Darwin y Vavilov, abordando el problema de la domesticación desde la teoría evolutiva y que llegaría hasta el plano de la dimensión política del valor de uso (Echeverría 1998).

Revisitar la contradicción

El proceso de pérdida de diversidad de los cultivos es particularmente acelerado y marcado en el transcurso del último par de siglos. Durante este periodo la diversidad de las plantas cultivadas ha estado sujeta a una constante erosión en la que constantemente decenas de variedades locales alrededor del mundo desaparecen conforme se expande la agricultura industrial.¹⁴ Pero, ¿es esta pérdida de diversidad un resultado inevitable del proceso de la domesticación *per se* o de la agricultura en cuanto tal? Recuentos como el de Harris (2012), parecen suponer que esto es así. Sin embargo, el hecho de que esta erosión se ubique en una época histórica específica quizá nos permita revisitar la contradicción echando mano de los elementos que hemos desarrollado hasta aquí.

Uno de los cambios más notables que se ha operado en los últimos dos siglos respecto a la producción de alimentos es la preponderancia cada vez mayor de una forma peculiar de existencia de los mismos: su existencia como mercancías específicamente capitalistas. Es decir, la agricultura que como actividad había existido para la humanidad desde hace miles de años, se incorpora en los últimos dos siglos a una forma particular de reproducción de la vida social.

De manera contrastante con otras formas de reproducción de la vida social, el capitalismo implica que la forma de valor subordina a la forma natural en la producción de objetos útiles (valores de uso). Esto ha implicado una inversión de la manera como se estructura la reproducción de la vida misma. Efectivamente, si lo que distinguiría al animal humano sería que el proceso de producir los alimentos para la supervivencia es a la vez la búsqueda de producir significados, esto es, la búsqueda de construir la propia identidad como un proyecto inacabado, esto realmente sería la guía que origina el surgimiento de la diversidad en los planos tanto cultural como biológico. En contraposición a esto, tenemos que, con la constante expansión (en extensión y profundidad) del mercado capitalista, esa diversidad de formas quedaría subsumida o subordinada al *telos* o propósito fundamental del valor valorizándose,¹⁵ de la acumulación capitalista como eje de la reproducción social misma.

¿Quiere decir esto que la forma mercantil habría estado al margen del pro-

¹⁴ Ver por ejemplo: Koeppel (2008, 304) Siebert (2011) Imperial College of Science, Technology and Medicine (2002).

¹⁵ "En su condición de vehículo consciente de ese movimiento, el poseedor de dinero se transforma en capitalista. Su persona o, más precisamente, su bolsillo, es el punto de partida y de retorno del dinero. El contenido objetivo de esa circulación —la *valorización del valor*— es su fin subjetivo, y sólo en la medida en que la creciente apropiación de la riqueza abstracta es el único motivo impulsor de sus operaciones, funciona él como capitalista, o sea como capital personificado, dotado de conciencia y voluntad. Nunca, pues, debe considerarse el valor de uso como fin directo del capitalista." Marx (1869, 186), las cursivas son mías.

ceso de formación de la diversidad de los cultivos? ¿O bien que esta diversidad sólo existe allí donde los productos de la agricultura no forman parte de ningún mercado? No, o por lo menos esa no es nuestra hipótesis, pero sí lo es que al menos en el contexto de la producción de mercancías simples (y en el caso de la producción de valores de uso de una forma no mercantil esto cobraría aún mayor validez) la producción toda se halla orientada hacia la producción de valores de uso, y demanda por parte de los sujetos sociales de que esos valores de uso tomen las formas específicas que se espera de ellos y que puedan incidir sobre la realidad de los objetos producidos:

la propia producción, en toda su construcción, se orienta hacia el valor de uso y no al valor de cambio y por ello es sólo en virtud de su excedente por encima de la medida en que los valores de uso son requeridos para el consumo, que ellos cesan de ser tales y se convierten en medios para el intercambio, en mercancías (Marx 1981 [1859], 34).

Y aquí sería importante recordar que el proceso de expansión y profundización de las relaciones capitalistas de producción implica entre otras cosas dos procesos complementarios: 1) la transformación de mercancías simples (como las que puede vender un campesino directamente en el mercado local) en mercancías propiamente capitalistas (cuya venta realiza el plusvalor para un capitalista o conjunto de éstos) y 2) la transformación de bienes que no eran mercancías en mercancías en cuanto tales. Ese sería el proceso novedoso, ausente en los siglos o milenios previos en los que se gestó la diversidad agro-biológica¹⁶ y éste sería también el proceso que entra en contradicción con una serie de espacios —en el sentido social y también en el sentido meramente cartográfico del término— donde las relaciones sociales no terminan de adecuarse a los intereses de esa acumulación capitalista.

Allí donde los campesinos siguen decidiendo —muchas veces de forma colectiva— sobre la tierra, allí donde la gente común y corriente ejerce aún el control sobre qué y cómo se siembra, aparecen diversos grados de obstáculo al neoproductivismo que avanza en la punta de la modernidad capitalista.¹⁷ Este

16 Cuando se habla de diversidad agro-biológica, no nos estamos ya refiriendo solamente a la diversidad de las plantas domesticadas. Esta diversidad sería una especie de espejo, un plano sobre el que se proyectan otras dimensiones de la diversidad junto con las cuales la diversidad de los cultivos formaría un todo orgánico en el mejor sentido dialéctico del término. Por diversidad agro-biológica nos referiríamos entonces también a la diversidad agro-ecosistémica, mediada por diferentes prácticas de manejo, incluyendo milpas (y otras formas de policultivo), traspatios, humedales, acahuales, etc.

17 “Ahora que las otras sociedades terminan de extinguirse, barridas por la marcha arrolladora de la modernidad, las que sí nos son conocidas y que han seguido de un modo u otro,

neo-productivismo, por cuanto deforma la politicidad del proceso de producción de valores de uso, para subordinarlos a esa especie de sucedáneo de un sujeto social que es el mercado capitalista, reduce las múltiples dimensiones de la diversidad agrícola a una sola: cuánto se produce, en cuánto espacio, en cuánto tiempo y, lo más importante, generando cuánto plusvalor.

Hasta ahora, la mayoría de los estudios sobre domesticación que se han hecho desde la biología, han prescindido del análisis profundo del papel de las relaciones sociales de producción como parte del proceso causal de la diversidad de plantas cultivadas. Más aún, estos estudios han tendido a dejar de lado la caracterización de la línea de tensión que se establece entre dicha diversidad y la acumulación de capital como un proceso continuo que implica la destrucción continua de un conjunto de relaciones sociales para ser sustituidas en extensión y profundidad por relaciones de producción propiamente capitalistas (Luxemburg 2003 [1913]).

Hacia una hipótesis de trabajo interdisciplinario

La diversidad biológica presente en las plantas domesticadas y, en sentido más amplio, la agro-biodiversidad, es el resultado de un proceso evolutivo peculiar que ha ocurrido en el contexto de la producción de valores de uso propios, parte sustancial de la formación de cultura; la articulación de estos dos planos explicaría no sólo el surgimiento sino la permanencia de dicha agro-biodiversidad. Por eso esta diversidad se halla íntimamente ligada al control por las comunidades y pueblos campesinos de dos elementos centrales del proceso de producción: la tierra y sus propias semillas. Si esto es así, esperaríamos encontrar diferentes formas de correlación, quizá incluso estadística, entre la diversidad de valores de uso (asociada a una diversidad de formas de consumo y a múltiples y variados procesos culturales) y la diversidad biológica (a diferentes niveles) presente en las plantas cultivadas. En última instancia, la existencia de una dimensión articuladora de esa diversidad (figura 3), manifestada en las múltiples formas que de manejo agro-ecosistémico, estaría también intrínsecamente relacionada con la diversidad de formas de valor de uso, con la diversidad cultural en sí misma y serían los procesos que ocurren en todos esos planos los que se proyectarían sobre aquel nivel en el que comenzamos nuestra discusión sobre

con mayor o menor "éxito", la línea del progreso, se nos revelan como sociedades que eligieron subordinar el conjunto de su actividad vital a la fase productiva de la misma; sociedades que se han hecho a sí mismas concentrándose obsesivamente en el momento de la consecución del producto, de la lucha violenta contra la prepotencia de lo Otro (la "Naturaleza") y en la acumulación del "excedente" indispensable, en la administración de la supervivencia." (Echeverría 1998, 142).

la domesticación y la diversificación a saber: el sorprendente intervalo de variación biológica presente en las plantas cultivadas.

México —no aisladamente sino también como parte de Mesoamérica— presenta una oportunidad enorme para este tipo de análisis, pues coinciden en nuestro país el ser un centro de origen para la agricultura con cientos de plantas domesticadas, comunidades campesinas vivas —principalmente indígenas— con una serie de prácticas que se pueden analizar en el presente, la presencia de gradientes de domesticación y prácticas de manejo para muchas especies cultivadas (desde poblaciones silvestres hasta agricultura industrial), diferentes grados de participación en el mercado capitalista (lo cual permite suponer que hay diferentes grados de subsunción formal y real del trabajo al capital por lo que el predominio de la producción de valores de cambio no es absoluto) y sobre todo un movimiento indígena organizado y que lucha y construye activamente otras formas de relación social. En términos generales, esto permite poner a prueba la hipótesis de que los patrones de diversidad en materia de plantas cultivadas no son algo estático, sino una manifestación de un conjunto de procesos activos (en el sentido de Levis, 2007a; 2007b). La comprensión de esa línea de tensión entre la naturaleza y la acción de los seres humanos sobre ésta, requiere aproximarse tanto a la complejidad de los procesos evolutivos que suceden en torno a la domesticación, como a la presencia —también compleja— de una fuerza motriz nueva, emergente en el mejor sentido del término, la dimensión política del valor de uso.

Pero el poder heurístico de una aproximación de este tipo no radicaría solamente en poder explicar mejor el origen de la diversidad de los cultivos y prácticas de manejo o en ampliar los horizontes de ambos campos interactuantes (la teoría evolutiva y la crítica de la economía política), o en última instancia “en poder explicar mejor la realidad” en general, aunque ello sería muy importante. Aparece otro nivel de relevancia para una perspectiva interdisciplinaria sobre la dialéctica de la domesticación en un contexto en el que el fenómeno mismo de estudio corre el riesgo de desaparecer, por cuanto en la época en que estas líneas son escritas se presenta a todas luces una peligrosa devastación que extingue día a día prácticas de cultivo de los pueblos originarios y busca propositivamente exterminar a los pueblos en sí mismos, en un contexto en el que la pérdida de soberanía alimentaria y de variedades locales de cultivos se imponen en diferentes partes del mundo en el marco de la expansión de una agricultura tecnificada e industrializada. En ese contexto, una aproximación interdisciplinaria a la domesticación y diversificación de los cultivos será relevante en la medida en que pueda aportar elementos que permitan comprender y hacer frente de mejor manera a las fuerzas que erosionan dicha diversidad y generan la devastación descrita. Ello requerirá completar el tránsito de la academia a la

política, para usar la expresión de González Casanova (2004). Y ello pasa no solamente por reconocer que la expansión capitalista amenaza al proceso mismo que nos proponemos estudiar (así como al resto de la vida en el planeta) sino por reconocer que, allá afuera, aparentemente al margen de la academia, hay otros sujetos activos, gente de a pie, con la cual si aspira a sobrevivir, la academia tendrá que cambiar su forma de relacionarse: tendrá que des-enajenarse y ello no podrá ser un hecho aislado, sino parte de la construcción colectiva de un mundo nuevo.

Agradecimientos

A los compañeros del Seminario Interdisciplinario sobre domesticación y agroecología del CEIICH por lo aprendido junto a ellos. Agradezco también a Mariana Benítez, Luis Eguiarte y Kristin Mercer las discusiones, seminarios y trabajo práctico en torno a la domesticación, que enriquecieron la perspectiva que aquí se presenta. Los intercambios con los compañeros del Taller Teoría de la evolución, ideología y reduccionismo: un enfoque dialéctico han sido importantes en el desarrollo de estos argumentos. Gracias a Alonso Gutiérrez por los comentarios hechos al manuscrito de este artículo, así como a los dictaminadores que hicieron correcciones valiosas al mismo. Se agradece el apoyo del proyecto PA-PIIT RN 402013. ■

Referencias

- Aguilar Rincón, Víctor Heber *et al.* *Los chiles de México y su distribución*. México: SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL y UAN, 2010.
- Bellon, Mauricio. «The dynamics of crop intraespecific diversity: a conceptual framework at the farmer level.» *Economic Botany* 50 (1996): 26-39.
- Boege, Ekhart. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008.
- Brush, Stephen T., Dawitt Tadesse y Eric VanDusen. «Crop diversity in peasant and industrialized agriculture: México and California.» *Society and Natural Resources* 16 (2003): 123-141.
- Casas Alejandro, Otero Arnaiz Adriana, Pérez Negrón Edgar y Valiente-Banuet Alfonso «*In situ* Management and Domestication of Plants in Mesoamerica.» *Annals of Botany* 100 (2007): 1101-1115.
- Chappell, M. Jahi *et al.* «Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America.» *F1000 Research* 2 (2013): 235.

- Darwin, Charles. *The Origin of Species*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2004[1859].
- De Candolle, Alphonse. *Origin of cultivated plants: facsimile reprint of English translation of 2nd edition*. Nueva York: Hafner, 1959 [1886].
- Denison, R. Ford, Toby Kiers y Stuart A. West. «Darwinian agriculture: when can humans find solutions beyond the reach of natural selection?» *Quarterly Review on Biology* 78 (2009): 145-178.
- Diamond, Jared. «Evolution, consequences and future of plant and animal domestication.» *Nature* 418 (2002): 700-707.
- Dirzo, Rodolfo y Raven, Peter. H. «Global state of biodiversity and loss.» *Annual Review of Environmental Resources* 28 (2003): 137-167.
- Doebley, John, Stec, A. y Gustus, C. Teosinte branched and the origin of maize: evidence for epistasis and the evolution of dominance. *Genetics* 141 (1995), 333-346.
- , Stec, A. y Hubbard, L. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386 (1997), 485-48.
- , Brandon Gaut y Bruce D. Smith. «The molecular genetics of crop domestication.» *Cell* 127 (2006): 1309-1329.
- Drake, Abby Grace y Christian Peter Klingenberg. «Large-scale diversification of skull shape in domestic dogs: disparity and modularity.» *The American Naturalist* 175 (2010): 289-301.
- Duarte, Carlos, Nuria Marbá y Marianne Holmer. «Rapid domestication of Marine species.» *Science* 316 (2007): 382-383.
- Echeverría, Bolívar. *Definición de la Cultura*. México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM-Itaca, 2001.
- . *Valor de uso y utopía*. México: Siglo XXI, 1998.
- FAO. *Building in gender, agrobiodiversity and local knowledge*. Roma, 2005.
- . *Second report on The State of The World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Roma: Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, 2010.
- . «Use and potential of wild plants in farm households.» *Libro electrónico*. 1999a. <http://www.fao.org/DOCREP/003/W8801E/W8801E00.HTM> <http://www.fao.org/biodiversity/components/plants/en/>.
- . *Women: users, presevers and managers of agrobiodiversity*. 1999b. www.fao.org/FOCUS/E/Women/Biodiv-e.htm.
- Fuller, Dorian y Robin Allaby. «Seed dispersal and crop domestication: shattering, germination and seasonality in evolution under cultivation.» *Annual Plant Reviews* 38 (2009): 238-295.
- Gepts, Paul. «A comparison between Crop Domestication, Classical Domestication and Genetic Engineering.» *Crop Science* 42 (2002): 1780-1790.

- . «Domestication as a long term selection experiment.» *Plant Breeding Reviews*, 2004: 1-44.
- Glenn, Travis. «Field guide to next-generation DNA sequencers.» *Molecular Ecology Resources* 11 (2011): 759-769.
- González Casanova, Pablo. *Las nuevas ciencias y las humanidades: de la academia a la política*. Barcelona: Anthropos-Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM, 2004.
- Gould, Stephen J. «Una habitación propia.» En *Las piedras falaces de Marrakech*. Barcelona: Crítica, 2001a.
- . «The evolutionary definition of selective agency, validation of the theory of hierarchical selection, and the fallacy of the selfish gene.» En *Thinking about evolution: historical, philosophical and political perspectives*, de R. Singh, CB. Krimbas, DB. Paul y J. Beatty, 208-234. Nueva York: Cambridge University Press, 2001b.
- . «Un atajo hacia el maíz.» En *La sonrisa del flamenco*, de Stephen Jay Gould. Barcelona: Crítica, 2009.
- Groenen, M.A.M. *et al.* «Analyses of pig genomes provide insight into porcine demography and evolution.» *Nature* 491 (2012): 393-398.
- Haldane, John Burdon Sanderson. «A mathematical theory of natural and artificial selection Parts I-X.» *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, 1924-1934.
- . «A mathematical theory of natural and artificial selection. Part X. Some theorems in artificial selection.» *Genetics* 19 (1934): 412-429.
- . «The interaction of nature and nurture.» *Annals of Eugenics* 13 (1946): 197-205.
- . «The cost of natural selection.» *Genetics* 55 (1957), 511-524.
- Harlan, Jack. *Crops and Man*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1975.
- Harris, David R. «The evolution of agroecosystems: biodiversity, origins and differential development.» En *Biodiversity in agriculture*, editado por Gepts P., *et al.* Cambridge University Press, 2012.
- Hufford, MB *et al.* «Comparative genomics of maize domestication and improvement.» *Nature Genetics* 44 (2012): 808-813.
- Imperial College of Science, Technology and Medicine. «Crop diversity at risk: the case for sustaining crop collections.» *Wye, Ashford, UK*. 2002. <http://www.croptrust.org/main/publications.php>.
- Jablonka, Eva y Marion Lamb. *Evolution in four dimensions: genetic, epigenetic, behavioral and symbolic variation in the history of life*. Massachusetts: MIT Press, 2006.

- Koeppel, Dan. *Banana: the fate of the fruit that changed the world*. Nueva York: Plume, 2008.
- Levins, Richard. «Dialectics and systems theory.» En *Biology under the influence*, de Richard Lewontin y Richard Levins. Nueva York: Monthly Review Press, 2007a.
- . *Evolution in changing environments*. Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 1968.
- . «Ten propositions about science and antiscience.» *Social text* 101-102 (2007b): 46-47.
- Lewontin, Richard C. *The triple helix: gene, organism and environment*. Massachusetts, EEUU: Harvard University Press, 2000.
- Luxemburg, Rosa. *The accumulation of capital*. Londres y Nueva York: Routledge Classics, 2003 [1913].
- Mardis, Elaine. «Next generation DNA sequencing methods.» *Annual Review of Genomics and Human Genetics* 9 (2008): 387-402.
- Marx, Carlos. *Contribución a la crítica de la economía política*. México: Siglo XXI Editores, 1981 [1859].
- . *Introducción general a la crítica de la economía política*. México: Siglo XXI Editores, 1997 [1857].
- . *Manuscritos económico filosóficos de 1844*. Buenos Aires: Editorial Colihue, 2004 [1844].
- . *El Capital*. T. 1, Vol. 1. México: Siglo XXI Editores (2007) [1869].
- McGucken, William. «Book review: Shattering: food, politics and the loss of genetic diversity.» *Environmental history review* 15 (1991): 91-93.
- McKey, Doyle, Marianne Elias, Benoit Pujol, y Anne Duputié. «Ecological approaches to crop domestication.» En *Biodiversity in agriculture*, editado por Gepts P, y otros. Cambridge University Press, 2012.
- Meyer, Rachel S., Michael Purugganan. «Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification.» *Nature reviews genetics* 14 (2013): 840-852.
- , Ashley E. DuVal y Helen R. Jensen. «Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops.» *New Phytologist* 196 (2012): 29-48.
- Miller, Allison y Briana L. Gross. «From forest to field: perennial fruit crop domestication.» *American Journal of Botany* 98 (2011): 1389-1414.
- Odling-Smee, John, Kevin Laland y Marcus Feldman. *Niche Construction: the neglected process in evolution*. Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 2003.
- Pickersgill, Barbara. «Domestication of plants revisited—Darwin to the present day.» *Botanical Journal of the Linnean Society* (2009) 161: 203-212.

- Prescott-Allen, Robert y Prescott-Allen Christine. «How many plants feed the world?» *Conservation Biology* 4 (1990): 365-374.
- Purugganan, Michael D. y Barbara D. Fuller. «The nature of selection during plant domestication.» *Nature* 457 (2009): 843-848.
- Ross Ibarra, Jeffrey, Peter L. Morrel y Brandon S. Gaut. «Plant domestication, a unique opportunity to identify the genetic basis of adaptation.» *Proceedings of the National Academy of Sciences (EEUU)* 104 (2007): 8641-8648.
- Sánchez Martínez José, Vargas Ponce Ofelia y Zamora Tavares Pilar. «Cultivo tradicional de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) una especie de tomatillo silvestre de México.» En Universidad de Guadalajara. *Avances de Investigación en el CUCBA*. Guadalajara, México: U. de G., 2008: 75-80.
- Saul, Hayley, Marco Madella, Anders Fischer, Aikarterini Glyoku, Sönke Hartz y Olive Craig. «Phytoliths in pottery reveal the use of spice in European prehistoric cuisine.» *PLoS One*, 2013: e70583.
- Shumy, V. K. «Two Brilliant Generalizations of Nikolai Ivanovich Vavilov (for the 120th Anniversary).» *Russian Journal of Genetics* 43 (2007): 1447-1453.
- Siebert, Charles. «Food Ark.» *National Geographic Society Magazine* 220 (2011): 108-131.
- Steinberg, Michael K. «Maize diversity and cultural change in a Maya agroecological landscape.» *Journal of ethnobiology* 19 (1999): 127-139.
- Tang, H, U. Sezen y AH Paterson. «Domestication and plant genomes.» *Current Opinion in Cell Biology* 13 (2010): 160-166.
- Vandermeer, John H. *The ecology of agroecosystems*. Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers, 2011.
- Van Heerwaarden, Joost *et al.* «Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces.» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (2011): 1088-1092.
- Vavilov, Nicolai. Centers of origin of cultivated plants. En Vavilov, Nicolai. *Origin and Geography of Cultivated Plants*. Translated from Russian by Doris Love. Great Britain: Cambridge University Press, 1926 [1994]. 22-135.
- Wells, Spencer. *Pandora's seed: how hunter-gatherer holds the key to our survival*. Nueva York: Random House, 2010.
- Whittaker, Robert. «Dominance and diversity in land plant communities: numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution.» *Science* 147 (1965): 250-260.