

EL PAPEL DEL COLOR EN LA INGESTA DE FRAGMENTOS DE MICROPLÁSTICO POR EL PEZ CEBRA (*Danio rerio*)

The role of color in the intake of microplastic fragments by zebrafish (*Danio rerio*)

Juan Manuel RÍOS

Laboratorio de Toxicología Ambiental, Instituto de Medicina y Biología Experimental de Cuyo (IMBECU),
CCT-CONICET, ZC 5500, Mendoza, Argentina.

Correo electrónico: jrios@mendoza-conicet.gob.ar

(Recibido: agosto de 2021; aceptado: diciembre de 2021)

Palabras clave: evitación, microplásticos, preferencia, peces de agua dulce.

RESUMEN

Se ha reportado la presencia de microplásticos (MP) en el contenido estomacal de peces de agua dulce a nivel global. Sin embargo, los mecanismos subyacentes al consumo de MP por parte de los animales acuáticos aún no están claros. En este estudio se investigó la pregunta fundamental de por qué los peces silvestres de agua dulce ingieren plástico. La ingesta de MP debida a la confusión por parte de los peces con sus presas naturales, tales como el plancton, es una hipótesis que ha cobrado importancia últimamente. Por lo tanto, el color del MP podría influenciar su consumo, especialmente en depredadores visuales. Con el objetivo de evaluar la ingesta de fragmentos de MP según el color (rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul), se llevó a cabo un experimento de opción múltiple en el laboratorio utilizando al pez cebra (*Danio rerio*) como modelo de estudio. Los resultados indicaron que frente a una oferta de igual proporción de MP de distintos colores, el pez cebra prefirió consumir los fragmentos de color azul, mientras que evitó consumir los verdes y los blancos. Aunque todavía no está claro en qué forma se relaciona la coloración del plástico con la selectividad y consumo en peces de agua dulce, las habilidades visuales de los peces podrían explicar por qué ciertos colores son atractivos para una especie de pez en particular.

Key words: avoidance, microplastics, preference, freshwater fish.

ABSTRACT

The presence of microplastics (MPs) in the stomach contents of freshwater fish has been globally reported. However, the mechanisms underlying the consumption of MPs by aquatic biota are still unclear. In this study, the fundamental question of why wild freshwater fish ingest plastic was investigated. The intake of MPs due to confusion by fish with their natural prey, such as plankton, is a hypothesis that has gained importance lately. Therefore, the color of MPs could influence their consumption, especially in visual predators. In order to evaluate the intake of MP fragments according to the color (red, green, yellow, white, black and blue), a multiple-choice experiment was performed in the laboratory using the zebrafish (*Danio rerio*) as test species. The results indicated that the zebrafish preferred to ingest blue fragments, while avoiding green and white

fragments when faced with an equitable supply of different-colored MPs. Although it is not yet clear how the color of the plastic is related to selectivity and consumption in freshwater fish, the visual skills of the fish could help to explain why certain colors are attractive to a particular fish species.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos juega un papel predominante en la alteración de los ecosistemas y debe tomarse como una amenaza ambiental (Santos et al. 2021). Se estima que el crecimiento en la producción de plásticos de los últimos 65 años ha superado a cualquier otro material fabricado (Geyer et al. 2017), con una producción cercana a los 359 millones de toneladas (Plastics Europe 2019). Las predicciones futuras no son alentadoras, ya que para el 2025 se estima que la población urbana global generará más de seis millones de toneladas de desechos sólidos diarios, lo que será concomitante con un aumento en la generación de desechos plásticos (Hoorweg et al. 2013). A pesar de la importancia de los ambientes de agua dulce como receptores de la contaminación plástica, los estudios sobre estos ecosistemas son escasos en comparación con los ambientes marinos (Li et al. 2018, Bauer-Civiello et al. 2019, Kuttralam-Muniasamy et al. 2020). Recientemente, Lacerot et al. (2020) estimaron que cerca del 87 % de las investigaciones realizadas hasta la fecha son marinas, y sólo el 13 % corresponde a ecosistemas dulceacuícolas.

En la naturaleza, la degradación del plástico más grande produce millones de partículas más pequeñas (O'Brine y Thompson 2010) que por definición se denominan microplásticos (MP) cuando son menores de 5 mm (Kuttralam-Muniasamy et al. 2020). Los MP varían en forma y origen, y a menudo son el resultado de la descomposición de los macroplásticos a través de la degradación ultravioleta, microbiana y física (Wagner y Lambert 2018). La categorización adicional incluye agrupaciones basadas en la forma como fibras, fragmentos, películas, espumas y perlas. Las fibras microplásticas provienen principalmente de la industria textil (Wagner y Lambert 2018) y de artículos como ropa, líneas y redes de pesca, y bolsas plásticas (Kuttralam-Muniasamy et al. 2020), siendo el principal tipo de forma de MP que se encuentra en el tracto gastrointestinal (TGI) de peces de agua dulce (Dos Santos et al. 2020, Vidal et al. 2021). Los MP fragmentados a menudo se originan a partir de objetos de plástico que no se deshilachan en fibras (Cole et al. 2011).

La ocurrencia de MP se ha reportado en diferentes matrices tanto en ambientes marinos como de agua dulce (Kuttralam-Muniasamy et al. 2020). Uno de los aspectos ligados a la presencia de MP en ecosistemas acuáticos es su potencial interacción con la biota. Esta interacción usualmente tiene consecuencias negativas, como lo demuestran estudios realizados en animales acuáticos de todos los niveles tróficos, tales como peces, aves, mamíferos, tortugas e invertebrados. Las respuestas biológicas informadas después de la ingesta de MP incluyen alteraciones en el comportamiento de alimentación (Mizraji et al. 2017) y la natación (Qiang y Cheng 2019), afectando la supervivencia (Boyero et al. 2020) y causando lesiones y reducción del crecimiento (de Sá et al. 2015, 2018). Además, los plásticos pueden acumular contaminantes orgánicos provocando efectos tóxicos adicionales (Lozoya et al. 2016).

Estudios recientes han informado que la ingestión de MP por peces silvestres podría relacionarse con la disponibilidad, el tamaño, la forma y el color de las partículas plásticas (Dos Santos et al. 2020, Vidal et al. 2021). La ocurrencia de MP en el TGI de peces silvestres de agua dulce puede deberse a la confusión con sus presas naturales como el plancton (Roch et al. 2020), siendo el color de los MP un factor importante de confusión (de Sá et al. 2015). Por lo tanto, el color puede aumentar la probabilidad de ingesta, especialmente en depredadores visuales como peces y larvas de peces (Herrera et al. 2019). Las fibras azules son los elementos de MP más consumidos por las especies de peces de agua dulce (Dos Santos et al. 2020, Vidal et al. 2021), mientras que, en términos de fragmentos, no se ha podido establecer un patrón consistente en cuanto a qué colores son los más consumidos. Sin embargo, los mecanismos subyacentes a la ingesta de MP por los peces aún no están claros. En este sentido, en el presente estudio se plantea la hipótesis de que el color influye en el consumo de fragmentos de plástico por el pez cebra (*Danio rerio*). Para abordar esta suposición, se utilizaron como modelo de estudio individuos adultos de pez cebra. El objetivo de este trabajo fue evaluar el consumo de MP según el color frente a un suministro equitativo de

fragmentos de plástico de diferentes colores (rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar si la ingesta de pequeños fragmentos de plástico de diferentes colores está relacionada con algunos colores específicos, se realizó un experimento de microcosmos a pequeña escala (de aquí en adelante: experimento de opción múltiple) con un pez omnívoro de agua dulce, el pez cebra (*Danio rerio*). Para obtener fragmentos de MP de diferentes colores, se recolectaron tapas de botellas de refrescos de una popular empresa desde recicladores de plástico ubicados dentro del instituto de investigación. La composición polimérica de todas las tapas de plástico utilizadas para este estudio fue polietileno de alta densidad (HDPE), como se muestra en el reverso de las tapas de refresco. Las tapas se limpiaron con agua del grifo, se separaron según su color (rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul), se enjuagaron con agua Milli-Q, se secaron con calentamiento suave (30-35 °C) y se trituraron con un rayador de acero inoxidable hasta obtener pequeñas partículas. El material particulado se tamizó a la fracción de tamaño de 250 a 710 μm y se almacenó en viales de vidrio hasta realizar el experimento. Los detalles para la obtención de los fragmentos de MP utilizados en el presente estudio se incluyen en el material suplementario.

Los individuos adultos de pez cebra ($n = 22$, peso promedio: 0.46 ± 0.02 g, longitud estándar promedio: 2.90 ± 0.04 mm) utilizados en el presente estudio se adquirieron con un proveedor local especializado en acuarios profesionales (Akvarium, Argentina). Una vez en el laboratorio, los peces se mantuvieron en acuarios de vidrio (7 L) que contenían agua del grifo declorada (pH: 7.5 ± 0.1 , conductividad: $1071 \mu\text{S/cm}$, oxígeno disuelto: 97 %) con aireación constante a una temperatura de 25 °C y un fotoperiodo de 12:12 h (luz-oscuridad). Durante el periodo de aclimatación a las condiciones del laboratorio (una semana antes del experimento) los peces fueron alimentados diariamente con alimento comercial TetraMin escamas (Tetra; proteínas totales: 47 %, lípidos totales: 10 %, fibra: 3 %, fósforo: 1 %).

Se realizó un experimento para evaluar la ingestión de fragmentos de MP por el pez cebra según el color (rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul) durante un periodo de tiempo de 10 min. El tipo de tratamiento consistió en una oferta de fragmentos de MP de diferentes colores sin alimento. Para su preparación, se pesaron 30 mg de fragmentos de

cada color utilizando una balanza analítica. Después los fragmentos de los colores antes mencionados se colocaron en una placa de Petri y se mezclaron cuidadosamente con una espátula de acero inoxidable hasta obtener una mezcla homogénea (peso final: 180 mg). Esto se realizó hasta obtener dos placas de Petri, cada una conteniendo 180 mg de la mezcla equitativa de fragmentos de color rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul.

El experimento se llevó a cabo por duplicado en los mismos acuarios de 7 L (cubiertos con tapas de vidrio para evitar contaminación cruzada) en la instalación de clima controlado. En cada unidad experimental (i.e., en cada acuario), los peces ($n = 11$) fueron sometidos a ayuno de 24 h antes del experimento. Para evitar la posible defecación de fragmentos de MP ingeridos, los experimentos se llevaron a cabo durante un periodo de 10 min. Después de cumplidos los 10 minutos de experimentación, todos los individuos se sacrificaron con una solución de eugenol (0.025 %), se midieron (longitud estándar), se pesaron (0.01 g) y se mantuvieron en hielo hasta la disección. Se examinó el contenido estomacal e intestinal de cada individuo con una lupa estereoscópica (Leica S6D 0.8 X, acoplada a una cámara fotográfica Leica EC3, núm. 10450528, Alemania) con la ayuda de pinzas quirúrgicas, agujas y un contador manual para registrar la cantidad de fragmentos de plástico según el color (**Fig. 1**). Los detalles acerca del diseño experimental utilizado en el presente estudio se incluyen en el material suplementario.

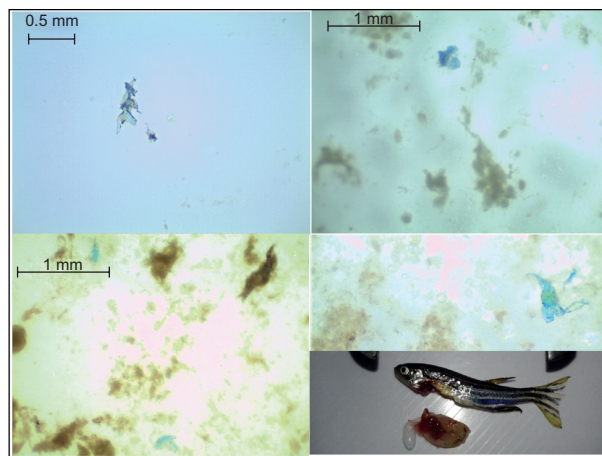


Fig. 1. Contenido estomacal con fragmentos de microplástico de color azul presentes en un individuo de pez cebra (abajo a la derecha) del experimento de elección múltiple. Microfotografía: Leica S6D 0.8X, acoplada a una cámara Leica EC3 núm. 10450528 0.5X, Alemania.

Los datos experimentales de opción múltiple fueron analizados con la prueba de Friedman (Zar 2013), ya que se examinó la cantidad de partículas de MP según el color en el estómago de los peces. Se aplicó un enfoque categórico a los datos del experimento para distinguir entre el color del fragmento preferido, el evitado y el menos preferido. Por lo tanto, los colores se asignaron a tres grupos: (1) preferidos (colores consumidos > 40 % en el experimento); (2) evitados (colores consumidos < 3 %); y (3) menos preferidos (colores consumidos entre 3-40 %). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat 2011 (Di Rienzo et al. 2011). Un valor de $p < 0.05$ se consideró significativo (Zar 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la media y de la mediana junto con los errores estándar de todos los fragmentos de MP ingeridos por los individuos de pez cebra durante el experimento en el presente estudio, se presentan en el **cuadro I**. En la primera unidad experimental, la ingesta de fragmentos de MP se registró en ocho de los 11 estómagos analizados después del experimento de opción múltiple (73 % de respuesta positiva), mientras que en la segunda unidad experimental (i.e., en el duplicado) se registró en siete estómagos (64 % de respuesta positiva). Por lo tanto, la respuesta positiva global del experimento fue de 68 %.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los estómagos analizados al comparar los valores de la mediana de la ingesta de fragmentos de

MP según el color en la primera unidad experimental (Friedman, $X^2 [n = 8, gl = 5] = 19.20, p = 0.001$) y en la segunda unidad experimental (Friedman, $X^2 [n = 7, gl = 5] = 18.29, p = 0.002$). Las medias y el error estándar del consumo global según el color por todos los individuos de pez cebra que ingirieron MP durante el experimento de opción múltiple se representan en la **figura 2**. El enfoque categórico indicó que los fragmentos azules fueron preferidos tanto en la primera como en la segunda unidad experimental, mientras que los fragmentos plásticos de color verde y blanco fueron evitados por los individuos de pez cebra (**Cuadro II, Fig. 2**).

El porcentaje de contribución de cada color evaluado se muestra en el **cuadro II**. Se encontró un total

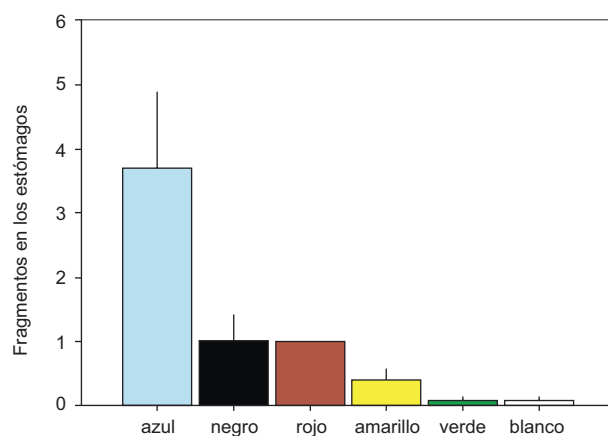


Fig. 2. Respuesta general de ingesta de fragmentos de microplástico según el color por los peces cebra (68 % de respuesta positiva; $n = 15$) durante el experimento de opción múltiple. Las barras indican un promedio \pm el error estándar.

CUADRO I. MEDIA, MEDIANA (EN PARÉNTESIS) Y ERROR ESTÁNDAR (EE) DE LOS FRAGMENTOS DE MICROPLÁSTICOS INGERIDOS SEGÚN EL COLOR POR LOS INDIVIDUOS DE PEZ CEBRA EN EL EXPERIMENTO DE OPCIÓN MÚLTIPLE.

Color del microplástico	Acuario 1		Acuario 2	
	Media (mediana)	EE	Media (mediana)	EE
Azul	2.10 (2.00)	0.50	5.40 (2.00)	2.30
Negro	1.63 (1.00)	0.64	0.29 (0.00)	0.23
Rojo	1.00 (1.00)	0.00	0.00 (0.00)	0.00
Amarillo	0.25 (0.00)	0.14	0.57 (0.00)	0.34
Verde	0.13 (0.00)	0.11	0.00 (0.00)	0.00
Blanco	0.13 (0.00)	0.11	0.00 (0.00)	0.00
Respuesta positiva*	73 % ($n = 8$)		64 % ($n = 7$)	

*La respuesta positiva general es el porcentaje de peces que ingirieron al menos una partícula de microplástico dentro de cada unidad experimental (acuario).

CUADRO II. PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN Y NÚMERO TOTAL DE FRAGMENTOS CONSUMIDOS SEGÚN COLOR POR LOS INDIVIDUOS DE PEZ CEBRA EN EL EXPERIMENTO DE OPCIÓN MÚLTIPLE.

Color del microplástico	Categoría	Acuario 1		Acuario 2	
		Contribución (%)	Número de fragmentos	Contribución (%)	Número de fragmentos
Azul	preferido	43	17	83	38
Negro	menos preferido	33	13	4	2
Rojo	menos preferido	15	6	4	2
Amarillo	menos preferido	5	2	9	4
Verde	evitado	3	1	0	0
Blanco	evitado	3	1	0	0
Consumo total			40		46

de 86 fragmentos de MP en los estómagos analizados y la contribución porcentual promedio de cada color fue la siguiente: azul, 64 %, seguido del negro, 17 %; rojo, 9 %; amarillo, 7 %; verde, 1%, y blanco, 1 %. La ingesta total de MP por los individuos de pez cebra en cada unidad experimental (i.e., acuarios 1 y 2) según el color se muestra en el **cuadro II**. Este patrón de selección es consistente en ambas unidades experimentales y denota que el azul fue el color más preferido (**Cuadro II**).

En la naturaleza, la ocurrencia de MP según la forma y el color en el TGI de peces silvestres en ambientes de agua dulce puede depender de las actividades antrópicas de la región y de la disponibilidad de desechos plásticos en cada sitio de estudio (Fu y Wang 2019). En particular, el color es un factor clave que a menudo se considera importante en la ingesta de MP debido en parte a que muchos organismos zooplanctónicos se asemejan a las presas naturales de depredadores visuales como los peces (Abayomi et al. 2017, Vidal et al. 2021). Sin embargo, parece haber una tendencia a escala global a que las fibras azules sean los elementos plásticos que se encuentran con mayor frecuencia en el TGI de peces silvestres de entornos de agua dulce (Peters y Bratton 2016, McNeish et al. 2018, Dos Santos et al. 2020, Merga et al. 2020, Vidal et al. 2021). Por ejemplo, Dos Santos et al. (2020) reportaron la incidencia de MP en la dieta de dos especies de peces de agua dulce (*Iheringthys labrosus* y *Astyanax lacustris*) de la sección media del Río Uruguay en Brasil. Los autores encontraron que los materiales sintéticos más frecuentes fueron las fibras de color azul (74 %), las cuales representaron el 88 % del total de MP en los estómagos de los peces analizados. Recientemente, Vidal et al. (2021) informaron que los ítems de MP

más frecuentes fueron fibras azules (67 %) en el TGI de 29 especies de peces de arroyos en Uruguay.

Existen estudios que han informado la prevalencia de MP en forma de fragmentos sobre fibras en peces de agua dulce, mientras que otros han informado proporciones similares para ambos tipos de formas. Por ejemplo, Roch et al. (2019) reportaron la carga de MP en 22 especies muestreadas de 11 ríos y seis lagos en el estado de Baden-Württemberg en Alemania. Los autores encontraron que de todos los MP detectados, la mayoría de las partículas estaban formadas por fragmentos (54 %), seguidas por fibras (39 %). En este estudio los fragmentos de color negro y los claros fueron los MP más prevalentes en los TGI de peces analizados, a excepción de los recolectados en la parte baja del Lago de Constanza, donde los peces contenían predominantemente fragmentos de color verde (aproximadamente el 45 %) (Roch et al. 2019). Dos explicaciones plausibles sobre estos hallazgos podrían atribuirse a i) diferencias de disponibilidad de MP según el color entre los sistemas de agua dulce o ii) diferencias específicas para la especie en las preferencias según el color por parte de los peces analizados. Sin embargo, el mecanismo de esta última hipótesis merece un análisis más detallado mediante estudios experimentales a escala de micro o mesocosmos. En el lago Ziway, en África, las partículas plásticas recolectadas en el TGI de peces silvestres de agua dulce (*Oreochromis niloticus*, *Clarias gariepinus*, *Cyprinus carpio* y *Carassius carassius*) fueron en su mayoría (57 %) fragmentos azules (Merga et al. 2020).

En el presente estudio se pudo determinar una marcada selección hacia los fragmentos de MP de color azul, mientras que los fragmentos verdes y blancos fueron sistemáticamente evitados por parte

de los individuos de pez cebra analizados. La selección del color azul es consistente con lo que ocurre en la naturaleza, ya que los MP de este color parecen ser atractivos para varias especies de peces que los confunden con sus presas naturales (Ory et al. 2017). Por ejemplo, las presas naturales de *Decapterus murrodsi* son copépodos de color azul, lo que explica una marcada ingesta de fragmentos de MP de este color por los peces de dicha especie marina (Ory et al. 2017). Una de las fortalezas del experimento aquí realizado es que, a diferencia de lo que puede ocurrir en la naturaleza, la cantidad ofrecida de MP de cada color fue equivalente, lo que permitió que los peces expresaran su preferencia por un color específico. Aunque la visión de los peces permite un acercamiento directo a la comida, el umbral óptico de detección de cada color es marcadamente específico para la especie (Fernald 1989). Por lo tanto, queda por estudiar cómo varía la preferencia por ingerir plástico de un color particular en otras especies que representen los ecosistemas locales y reales (Gómez et al. 2019, Ortiz et al. 2021), lo que potencialmente puede ayudar a comprender más acerca de los mecanismos subyacentes en los patrones de consumo en entornos naturales.

CONCLUSIONES

La ingesta de MP por los peces podría ser un problema emergente debido a la proliferación de contaminación plástica en los ambientes acuáticos. Los resultados mostraron que los fragmentos de MP de color azul fueron los preferidos por los individuos de pez cebra analizados, siendo este patrón de selectividad hacia el color azul consistente con lo que ocurre en la naturaleza. Es importante incrementar el número de estudios sobre consumo de MP en peces silvestres de agua dulce, conjuntamente con estudios de laboratorio sobre los mecanismos que expliquen la selectividad hacia determinados colores en los residuos plásticos, con el fin de obtener mayor robustez en los patrones hallados.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT PICT 2021:00077). Un especial agradecimiento a Sergio Roig y Guillermo López-García por la asistencia brindada durante las sesiones en la lupa.

REFERENCIAS

- Abayomi O.A., Range P., Al-Ghouti M.A., Obbard J.P., Almeer S.H. y Ben-Hamadou R. (2017). Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 124 (1), 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.011>
- Bauer-Civello A., Critchella K., Hoogenboom M. y Hamann M. (2019). Input of plastic debris in an urban tropical river system. *Marine Pollution Bulletin* 144, 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.070>
- Boyer L., López-Rojas N., Bosch J., Alonso A., Correa-Araneda F. y Pérez J. (2020). Microplastics impair amphibian survival, body condition and function. *Chemosphere* 244, 125500. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125500>
- Cole M., Lindeque P., Halsband C. y Galloway T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62 (12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- De Sá L.C., Luis L.G. y Guilhermino L. (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (K): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution* 196, 359-362. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.10.026>
- De Sá L.C., Oliveira M., Ribeiro F., Rocha T.L. y Futter M.N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the Total Environment* 645: 1029-1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [en línea]. <http://www.infostat.com.ar> 02/08/2021
- Dos Santos T., Bastian R., Felden J., Rauber A.M., Reynalte-Tataje D.A. y Teixeira de Mello F. (2020). First record of microplastics in two freshwater fish species (*Iheringthys labrosus* and *Astyanax lacustris*) from the middle section of the Uruguay River, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 32, e26. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3020>
- Fernald R.D. (1989). Fish vision. En: *Development of the vertebrate retina. Perspectives in vision research* (Finlay B.L. y Sengelaub D.R., Eds.). Springer, Boston, EUA, pp. 247-265. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-5592-2_11
- Fu Z. y Wang J. (2019). Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater

- ecosystems in China. *Science of the Total Environment* 691, 697-712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.167>
- Geyer R., Jambeck J.R. y Lavender K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3 (7), 1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gómez F., Valenzuela A. y Acosta J.C. (2019). Registro de micro y mesoplásticos en el tracto digestivo de la especie vulnerable *Olivaichthys cuyanus* (Siluriformes: Diplomystidae), en el río cordillerano Los Patos, San Juan, Argentina. *Multequina* 28, 21-28.
- Herrera A., Štindlová A., Martínez I., Rapp J., Romero-Kutzner V., Samper M.D., Montoto T., Aguiar-González B., Packard T. y Gómez M. (2019). Microplastic ingestion by Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the Canary Islands coast. *Marine Pollution Bulletin* 139, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.022>
- Hoornweg D., Bhada-Tata P. y Kennedy C. (2013). Waste production must peak this century. *Nature* 502, 615-617. <https://doi.org/10.1038/502615a>
- Kutralam-Muniasamy G., Pérez-Guevara F., Elizalde-Martínez I. y Shruti V.C. (2020). Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution* 267, 115463. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115463>
- Lacerot G., Lozoya J.P. y Teixeira de Mello F. (2020). Plásticos en ecosistemas acuáticos: presencia, transporte y efectos. *Ecosistemas* 29, 2122. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2122>
- Li J., Liu H. y Chen J.P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137, 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Lozoya J.P., Teixeira de Mello F., Carrizo D., Weinstein F., Olivera Y., Cedrés F., Pereira M. y Fossati M. (2016). Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents? *Environmental Pollution* 218, 931-941. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.041>
- McNeish R.E., Kim L.H., Barrett H.A., Mason S.A., Kelly J.J. y Hoellein T.J. (2018). Microplastic in riverine fish is connected to species traits. *Scientific Reports* 8 (1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29980-9>
- Merga L.B., Redondo-Hasselerharm P.E., van den Brink P.J. y Koelmans A.A. (2020). Distribution of microplastic and small macroplastic particles across four fish species and sediment in an African lake. *Science of the Total Environment* 741, 140527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140527>
- Mizraji R., Ahrendt C., Pérez-Venegas D., Vargas J., Pulgar J., Aldana M., Ojeda F.P., Duarte C. y Galbán-Malagón C. (2017). Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Marine Pollution Bulletin* 116 (1-2), 498-500. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.008>
- O'Brine T. y Thompson R.C. (2010). Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 60 (12), 2279-2283. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.005>
- Ortiz C.H.M., Xajil-Sabán M., Blanda E. y Delvalle-Borrero D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas* 30 (2), 2188-2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Ory N.C., Sobral P., Ferreira J.L. y Thiel M. (2017). Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre. *Science of the Total Environment* 586, 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.175>
- Peters C.A. y Bratton S.P. (2016). Urbanization is a major influence on microplastic ingestion by sunfish in the Brazos River Basin, Central Texas, USA. *Environmental Pollution* 210, 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.018>
- Plastics Europe (2019). Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe, Bruselas, Bélgica [en línea]. <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- Qiang L. y Cheng J. (2019). Exposure to microplastics decreases swimming competence in larval zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 176, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.088>
- Roch S., Walter T., Ittner L.D., Friedrich C. y Brinker A. (2019). A systematic study of the microplastic burden in freshwater fishes of south-western Germany. Are we searching at the right scale? *Science of the Total Environment* 689, 1001-1011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.404>
- Roch S., Friedrich C. y Brinker A. (2020). Uptake routes of microplastics in fishes: Practical and theoretical approaches to test existing theories. *Scientific Reports* 10, 3896. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60630-1>
- Santos R.G., Machovsky-Capuska G.E. y Andrades R. (2021). Plastic ingestion as an evolutionary trap: Toward a holistic understanding. *Science* 373 (6550), 56-60. <https://doi.org/10.1126/science.abh0945>

- Vidal C., Lozoya J.P., Tesitore G., Goyenola G. y Teixeira de Mello F. (2021). Incidence of watershed land use on the consumption of meso and microplastics by fish communities in Uruguayan lowland streams. *Water* 13 (11), 1575. <https://doi.org/10.3390/w13111575>
- Wagner M. y Lambert S. (2018). *Freshwater microplastics: Emerging environmental contaminants?* Springer Nature, Cham, Suiza, 303 pp.
- Zar J. (2013). *Biostatistical analysis*. 5a ed. Pearson Higher Education, Uttar Pradesh, India, 756 pp.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

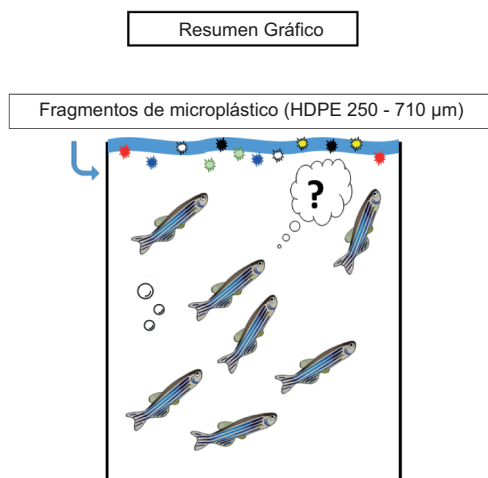


Fig. S1. La composición polimérica de todas las tapas de plástico utilizadas para este estudio fue polietileno de alta densidad (HDPE), según lo indicado por la compañía de bebidas en el reverso de los tapones de bebidas. Independientemente de su color, todas las tapas eran iguales en grosor y dureza.

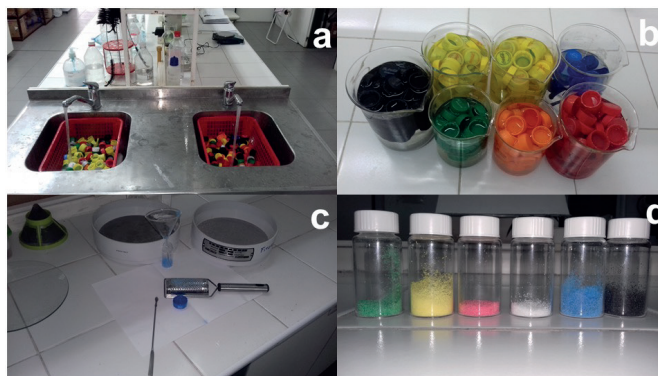


Fig. S2. Pasos para obtener los fragmentos de microplástico según el color: las tapas de HDPE (a) se limpiaron con agua del grifo tres veces, (b) se enjuagaron con agua Milli-Q, (c) se trituraron y tamizaron hasta la fracción de tamaño de 250-710 μm , y por último (d) se almacenaron en viales de vidrio según su color hasta la realización del experimento.

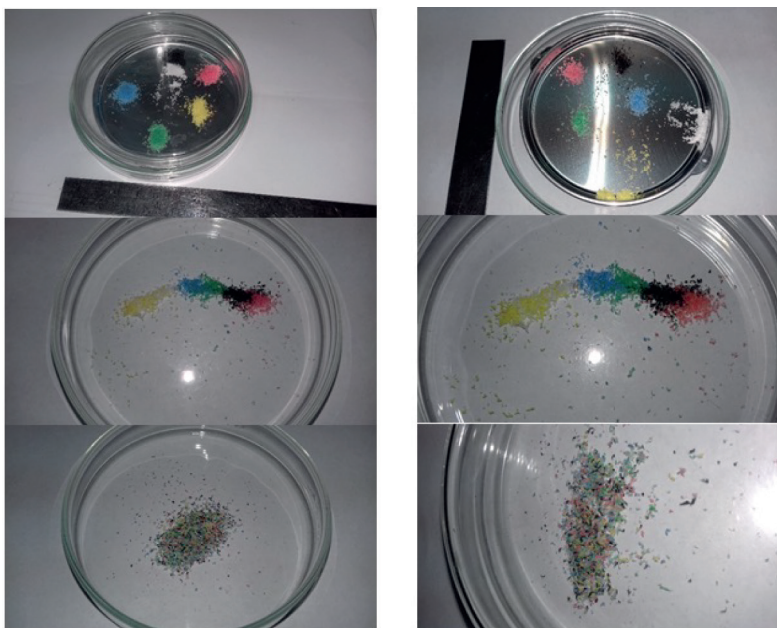


Fig. S3. Preparación de la oferta de múltiple de microplásticos. Brevemente, se pesaron 30 mg de fragmentos de cada color utilizando una balanza analítica. Luego, los fragmentos de los colores mencionados anteriormente se colocaron en una placa de Petri y se mezclaron cuidadosamente con una espátula de acero inoxidable hasta obtener una mezcla homogénea de fragmentos (peso final: 180 mg). El procedimiento se repitió de la misma forma para el segundo acuario experimental.

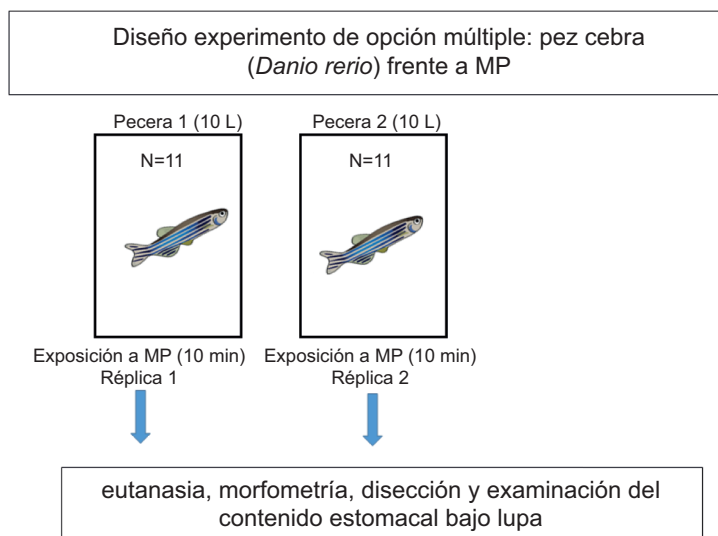


Fig. S4. Diseño experimental utilizado para evaluar la respuesta alimentaria (ingesta) de fragmentos de MP según el color (rojo, verde, amarillo, blanco, negro y azul) por el pez cebra (*Danio rerio*).