

Sección: Cápsulas del tiempo

La ciudad como laboratorio

The city as a laboratory

Miguel Ángel Reyes-López¹

Carlos Machain-Williams²

Francisca Villanueva-Flores^{3*}

¹Centro de Biotecnología Genómica. Laboratory of Conservation Medicine, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Blvd. Del Maestro SN, Narciso Mendoza, 88710, Reynosa, Tamaulipas, México.

²Estudios en Una Salud, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Palenque, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Carretera Federal 199, Nueva Esperanza, 29960, Palenque, Chiapas, México.

³Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), Unidad Morelos, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Boulevard de la Tecnología 1036, Z-1, P 2/2, 62790, Xochitepec, Morelos, México.

*Autor para la correspondencia: fvillanuevaf@ipn.mx

RESUMEN

Las ciudades son ecosistemas donde ratas, palomas y murciélagos pueden funcionar como “sensores vivos” de cambios biológicos. Al convivir con basura, agua, alimentos, mascotas y alcantarillas, se acumulan rastros que permiten detectar señales tempranas de riesgo. Este artículo propone anticiparnos mediante muestras sencillas y no invasivas, antes de que aparezcan casos de infección o brotes en personas y animales, o signos de deterioro ambiental. Estas señales incluyen microbios, virus y fragmentos de material genético. Integradas en varias capas, se resumen en un semáforo por zonas que mide el nivel de atención requerido en cada área.

Palabras clave: Ritmos circadianos, vigilancia zoonótica, metagenómica viral, Una Salud.

SUMMARY

Cities are ecosystems where rats, pigeons, and bats can function as “living sensors” of biological change. By living among waste, water, food sources, pets, and sewers, they accumulate traces that can reveal early warning signs of risk. This article proposes getting ahead of potential problems through simple, non-invasive sampling, before cases of infection or outbreaks appear in people and animals, or signs of environmental deterioration emerge. These signals include microbes, viruses, and fragments of genetic material. Integrated across several layers, they can be summarized in a zone-based traffic-light system that measures the level of attention required in each area.

Keywords: Circadian rhythms, zoonotic surveillance, viral metagenomics, One Health.

Introducción

De noche, cuando la ciudad baja el volumen, siguen pasando cosas. Una rata cruza una coladera, una paloma se acomoda en una cornisa, un murciélago traza rutas invisibles entre farolas... y, sin que lo notemos, microbios flotan sobre nuestras cabezas y, a veces, terminamos respirándolos. Solemos verlos como “plaga” o “molestia”. Pero, si hacemos zoom, también pueden ser otra cosa: sensores vivos de enfermedades y de otros cambios biológicos que ocurren en la ciudad.

Cuando aquí hablamos de “sensores vivos”, no queremos decir que los animales midan como lo haría un aparato. Queremos decir que en sus heces, saliva, piel o en el ambiente que los rodea pueden aparecer señales biológicas que ayudan a detectar la posible circulación de agentes infecciosos y otros cambios en la zona. Esas señales pueden ser virus, bacterias, hongos, fragmentos de ADN o ARN, o respuestas del propio organismo ante infección o estrés.

El problema no es la falta de ciencia, sino el enfoque: muchos agentes infecciosos, como virus, bacterias, hongos o parásitos, pueden circular primero en animales urbanos o en el ambiente sin causar de inmediato un brote visible. Detectarlos a tiempo exige mirar más allá de una lista corta de “enemigos famosos”. A menudo llegamos tarde, cuando el animal ya está enfermo, o cuando ya aparecen casos en personas o en animales domésticos o silvestres, aunque el animal que porta ese agente infeccioso puede verse perfectamente sano [1].

La idea que está ganando fuerza cambia el tablero: pasar de reaccionar a anticiparnos. No se trata de “adivinar” brotes, sino de vigilar mejor: elegir dónde buscar, confirmar señales tempranas (como microbios, fragmentos de material genético o cambios en moléculas del propio organismo) y actuar antes de que haya casos.

Para que funcione, hay un paso clave: conocer lo normal de cada zona. Hacer un “mapa base” de cómo se ve la ciudad cuando todo está en equilibrio. Sin ese punto de partida, cualquier cambio puede ser solo una variación natural. Con él, las diferencias sí hablan: permiten distinguir el ruido de fondo de las señales que merecen atención. En pocas palabras: antes de detectar lo peligroso, hay que entender lo habitual [1].

¿Qué significa “internet biológico”?

El “internet biológico” es una forma de imaginar la ciudad como una red que intercambia información, al igual que internet. Solo que aquí los “nodos” no son computadoras: son animales, microbios, el agua, el aire, la basura, las alcantarillas, los parques, las plantas y también las personas. Y lo que “circula” no son mensajes, sino rastros biológicos: microbios, restos genéticos y señales de cómo responden los organismos al entorno.

No se trata de vigilar a individuos, sino de ver el panorama general: qué señales aparecen, dónde cambian y cómo se mueven con el tiempo en distintos barrios. La idea es detectar patrones, no señalar culpables.

Lo interesante es que esas señales existen incluso antes de que haya gente gravemente enferma: el reto es aprender a leerlas. Es como la seguridad vial: una cosa es contar choques cuando ya ocurrieron y otra es detectar señales previas que anuncian problemas. Además, juntar varias señales ayuda mucho: una sola puede ser ruido, pero si dos o tres apuntan en la misma dirección, ya es un aviso temprano... e incluso puede revelar “sorpresas” que nadie estaba buscando.

Cómo se “escucha” a los sensores sin convertir esto en una cacería

Cuando hablamos de vigilar la fauna urbana, mucha gente imagina trampas y sacrificios. Pero en realidad, gran parte de la información puede obtenerse sin dañar animales, con muestras sencillas del entorno: heces, saliva, hisopos, agua, lodo o guano; y solo en casos puntuales, con capturas controladas y mínimas.

Si aparece una señal de alerta, se emplean pruebas de laboratorio muy específicas para confirmar la presencia de un agente infeccioso concreto, por ejemplo, un virus, una bacteria o un hongo. Y aquí entra un detalle práctico importante: no todas las muestras se conservan igual. Algunas señales aguantan más; otras se degradan rápido, por lo que, tan importante como la técnica, es cuidar la muestra desde que se toma en la calle hasta que llega al laboratorio [2].

Cinco capas, cinco tipos de pistas

1. **MicroRNAs:** señales tempranas de respuesta. Son moléculas muy pequeñas que ayudan a regular el funcionamiento de la célula. Cuando hay infección o estrés, sus niveles pueden variar. Por eso sirven como una pista temprana de que el organismo está reaccionando, aunque por sí solas no indican cuál es la causa [3].
2. **Genes de interfaz:** la cerradura y la llave. Un virus solo puede entrar en una célula si logra unirse a ciertas moléculas de su superficie. Esas moléculas funcionan como “cerraduras” y el virus necesita una “llave” compatible para entrar. Como no todos los animales tienen la misma “cerradura”, saber dónde encaja mejor ayuda a enfocar la vigilancia y la prevención en los puntos de mayor riesgo [4].
3. **Microbioma y micobioma:** el vecindario microbiano. Aquí se observa qué bacte-

rias y hongos son más comunes en una muestra y cómo cambian con el tiempo. Las regiones 16S e ITS son fragmentos del material genético que ayudan a identificar bacterias y hongos, algo así como etiquetas de identificación. Si de manera sostenida disminuye la diversidad o se domina un grupo, eso puede indicar cambios en el entorno, como la humedad, los residuos, la contaminación o el estrés. No confirma una enfermedad, pero sí puede indicar que una zona se está volviendo más favorable para ciertos agentes [5, 6].

4. **Viromics:** el radar de lo conocido y lo desconocido. En vez de buscar un solo virus, esta aproximación analiza el conjunto de material genético viral presente en la muestra. Eso permite detectar tanto virus ya conocidos como señales de otros que aún no se estaban buscando de forma específica. Sin embargo, encontrar material genético viral no basta para afirmar que hay una infección activa: hace falta confirmar cuánto hay, si se repite y si coincide con otras señales [7].
5. **Transcriptómica:** la respuesta del organismo en tiempo real. Esta herramienta mide qué genes están activos en un tejido en un momento determinado. Puede compararse con una “película” de lo que el cuerpo está haciendo: si está activando defensas, si hay inflamación o señales de estrés. No identifica por sí sola al agente responsable, pero ayuda a detectar actividad biológica incluso cuando el animal se ve sano por fuera [8].

El semáforo de riesgo: una forma simple de aterrizarlo

Imagina un semáforo por zona (colonia, parque, mercado), no para asustar, sino para priorizar acciones. Ese semáforo no mide “qué



Figura 1. Resumen de cinco tipos de pistas que pueden combinarse para la vigilancia temprana en ciudades. Los microARN indican si el organismo está reaccionando; los genes de interfaz ayudan a estimar qué especies podrían ser más susceptibles; el microbioma y el micobioma reflejan cambios en el entorno; el viroma permite detectar virus conocidos y desconocidos; y la transcriptómica muestra cómo responde el organismo. Al integrar estas capas, es posible decidir mejor dónde conviene vigilar y qué hallazgos vale la pena confirmar en el laboratorio. Imagen generada con ChatGPT 5.2 de OpenAI.

tan enferma” está una zona, sino qué tan urgente es revisarla con más detalle.

● Verde (atención baja): sin señales inusuales ni sostenidas en las capas, con variaciones pequeñas que parecen “ruido de fondo” del ecosistema.

● Amarillo (atención intermedia): una señal moderada (por ejemplo, un microbioma que pierde diversidad o un microRNA que aumenta) o dos señales débiles que aún no se han confirmado.

● Rojo (prioridad de vigilancia): señales consistentes en dos o más capas (por ejemplo, viromics sugiere un virus de interés + transcriptómica marca respuesta antiviral), por lo que se recomienda confirmación dirigida y medidas de control.

La clave es cruzar señales para no sacar conclusiones apresuradas: una puede ayudar a confirmar o a explicar la otra. Y las medidas no tienen que ser espectaculares; muchas veces funcionan mejor las acciones cotidianas, como retirar la basura y el agua estancada, evitar que la fauna urbana tenga acceso fácil a alimento, mantener al día la vacunación y la desparasitación de las mascotas, controlar mosquitos y otros vectores, y alertar a las autoridades sanitarias para que refuercen la vigilancia en una zona (Figura 2).

Así funcionaría en la vida real

Imagina una escena cotidiana. Un equipo toma, durante varias semanas, muestras sencillas en tres parques, por ejemplo, heces de paloma y material del entorno. Al analizarlas, en uno de los parques se observa un patrón recurrente: las bacterias y los hongos habituales cambian de forma sostenida y, en roedores muestreados de forma controlada, aparecen señales compatibles con una respuesta biológica activada. Eso no significa que ya haya un

brote, pero sí que esa zona merece más atención que las demás.

No hay titulares ni alarma: solo un “amarillo” en el semáforo que activa medidas básicas y proporcionales, como reforzar la limpieza, mejorar el manejo de residuos y del agua estancada, evitar alimentar a la fauna urbana, mantener al día la desparasitación y la vacunación de las mascotas, y controlar los vectores. Después viene lo crucial: confirmar. En lugar de analizar todas las muestras, se seleccionan las más informativas y se aplican pruebas más precisas para determinar si esas señales apuntan a un virus, una bacteria, un hongo o simplemente al estrés ambiental.

Si no se confirma nada específico, no se “declara” una epidemia: se mantiene la vigilancia y se busca la causa, por ejemplo, la temporada, el clima o los residuos. Si se confirma, se escala la respuesta, pero de forma local. En ambos casos, se vuelve a muestrear para ver si el “amarillo” pasa a verde y si lo que se hizo realmente funcionó.

No es magia ni una “cacería” de animales. Es una forma de vigilancia temprana que combina el muestreo ambiental, el análisis de laboratorio y la toma de decisiones proporcionales. También hay un reto de comunicación: encontrar algo “raro” no implica un peligro inmediato; mucha vida microbiana forma parte del paisaje normal. Por eso, el semáforo sirve cuando combina varias señales y cuando el mensaje al público es prudente: el riesgo no es certeza.

Si este enfoque funciona, permitirá actuar antes y mejor. En vez de esperar a que se presenten muchos casos, ayudaría a identificar focos locales de riesgo y a responder con mayor precisión. También puede ayudar a entender mejor la ciudad como un ecosistema compartido, donde la salud humana, animal y ambiental está conectada.

El semáforo de riesgo: una forma simple de aterrizarlo

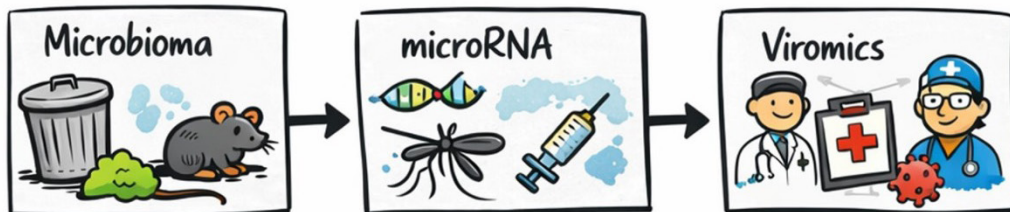
Imagina un semáforo por zona.

No para asustar, sino para priorizar acciones.



Validación cruzada

Conecta las capas.



Medidas básicas en la zona:

- Limpiar
- Vacunar
- Controlar plagas.
- Avisar a salud.



Figura 2. Semáforo para resumir el nivel de atención que requiere una zona, según las señales biológicas observadas. El verde indica cambios fuera de lo esperado; el amarillo, señales que deben seguirse; y el rojo, coincidencias que justifican la confirmación y la acción local. El objetivo no es alarmar, sino decidir dónde conviene vigilar más y qué medidas preventivas pueden aplicarse primero. El muestreo debe hacerse con permisos, bienestar animal y bioseguridad, y con comunicación prudente: una “señal” guía acciones, no es alarma pública. Imagen generada con ChatGPT 5.2 de OpenAI.

Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento de los fondos SIP20250306, SIP20251096 y SIP20254781, otorgados por el Instituto Politécnico Nacional, así como el del proyecto Ciencia Básica y de Frontera CBF-2025-I-1532, otorgado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Para la preparación del manuscrito se utilizó ChatGPT-5.1 (OpenAI) únicamente como apoyo en la revisión gramatical y sintáctica. El contenido, la originalidad y el rigor científico son responsabilidad exclusiva de las personas autoras.

Referencias

[1] Meurens, F., Dunoyer, C., Fourichon, C., Gerdtts, V., Haddad, N., Kortekaas, J., et al. (2021). Animal board invited review: Risks of zoonotic disease emergence at the interface of wildlife and livestock systems. *Animal*, 15(6), 100241. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100241>

[2] Schilling, A. K., Mazzamuto, M. V., & Romeo, C. (2022). A review of non-invasive sampling in wildlife disease and health research: What's new? *Animals*, 12(13), 1719. <https://doi.org/10.3390/ani12131719>

[3] Kimura, M., Kothari, S., Gohir, W., Camargo, J. F., & Husain, S. (2023). MicroRNAs in infectious diseases: Potential diagnostic biomarkers and therapeutic targets. *Clinical Microbiology Reviews*, 36(4), e00015-23. <https://doi.org/10.1128/cmr.00015-23>

[4] Yan, H., Jiao, H., Liu, Q., Zhang, Z., Xiong, Q., Wang, B. J., et al. (2021). ACE2 receptor usage reveals variation in susceptibility to SARS-CoV and SARS-CoV-2 infection among bat species. *Nature Ecology & Evolution*, 5(5), 600–608. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01407-1>

[5] Ribas, M. P., García-Ulloa, M., Espunyes, J., & Cabezón, O. (2023). Improving the assessment of ecosystem and wildlife health: Microbiome as an early indicator. *Current Opinion in Biotechnology*, 81, 102923. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102923>

[6] Nguyen, N. H., Song, Z., Bates, S. T., Branco, S., Te-

dersoo, L., Menke, J., et al. (2016). FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. *Fungal Ecology*, 20, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.06.006>

[7] Elbehiry, A., & Abalkhail, A. (2025). Metagenomic next-generation sequencing in infectious diseases: Clinical applications, translational challenges, and future directions. *Diagnostics*, 15(16), 1991. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15161991>

[8] Mejias, A., Cohen, S., Glowinski, R., & Ramilo, O. (2021). Host transcriptional signatures as predictive markers of infection in children. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 34(5), 552–558. <https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000750>