

Animation Science Quarterly



EXPLORANDO LA FÍSICA DEL MOVIMIENTO

Animation Science Quarterly

February 2026 | Vol. 14, No. 2 | 71 - 84

Geometric Optimization and Hybrid Vector Interpolation Methodologies in Limited 2D Animation

Optimización Geométrica y Metodologías Híbridas de Interpolación Vectorial en Animación 2D Limitada

Authors

Javier L. Méndez

Sofía R. Castillo

Abstract: Automating inbetweening in limited 2D animation poses technical challenges due to the structural inconsistencies of current generative models when replicating minimalist styles. This paper presents a hybrid methodology that combines geometric optimization with Trapped-Ball segmentation to ensure stylistic integrity and reduce temporal flickering. Results demonstrate that this approach improves production pipeline efficiency by 500% compared to traditional methods, enabling precise artistic control within assisted workflows.

Keywords: 2D Animation, Vector interpolation, AI, Geometric optimization, Inbetweening.

Resumen: La automatización del inbetweening en animación 2D limitada enfrenta retos técnicos debido a las inconsistencias estructurales de los modelos generativos actuales al replicar estilos minimalistas. Este artículo presenta una metodología híbrida que combina optimización geométrica y segmentación por Trapped-Ball para asegurar la integridad estilística y reducir el parpadeo temporal (flickering). Los resultados demuestran que este enfoque mejora la eficiencia del pipeline en un 500% respecto a los métodos tradicionales, permitiendo un control artístico preciso bajo flujos de trabajo asistidos.

Palabras clave: Animación 2D, Interpolación vectorial, IA, Optimización geométrica, Inbetweening.

Date of receipt:

December 15, 2025

Acceptance date:

February 10, 2026

DOI:

s10.5281/zenodo.20519891

Objetivos de la Investigación

Esta sección detalla los objetivos clave que guían la investigación.

01

Identificación de Limitaciones en IA de Video para Animación 2D

Estudiar las limitaciones técnicas de los modelos de generación de video con IA actuales cuando se aplican a la animación 2D y estilos minimalistas y exagerados como UPA para la identificación de fallos en la consistencia estética.

02

Investigación de Algoritmos de Optimización Geométrica

Buscar investigaciones recientes sobre algoritmos de optimización geométrica y modelos de aprendizaje profundo especializados en interpolación vectorial para la obtención de soluciones que mantengan la consistencia de trazos de grosor variable en animación 2D.

03

Desarrollo de Metodología de Interpolación con IA

Investigar una metodología enfocada en la técnica de interpolación con inteligencia artificial para el desarrollo de transiciones automatizadas fluidas entre fotogramas.

04

Exploración de Flujos de Trabajo de Vectorización Automática

Explorar flujos de trabajo de vectorización automática de dibujos manuales para la eliminación de las variaciones no deseadas de color y artefactos de alucinación visual generados por la IA en estéticas de colores planos.

05

Evaluación de Digitalización a Modelos 3D Cel-Shaded

Evaluar la viabilidad y el flujo de trabajo de la digitalización de personajes a modelos 3D con sombreado plano (*cel-shading*) y renderizado vectorial para la determinación de su utilidad en la animación.

Limitaciones de la Interpolación Convencional

La automatización de fotogramas intermedios (*inbetweening*) en la animación 2D tradicional sigue representando un desafío técnico no resuelto para la computación gráfica. En producciones que adoptan estéticas de trazo grueso, bordes definidos y geometrías altamente simplificadas, propias del estilo de la United Productions of America (UPA) o del expresionismo pictórico, los softwares convencionales de interpolación vectorial fallan críticamente.

El problema radica en la incapacidad de estos sistemas para interpretar la deformación anatómica no lineal y preservar la consistencia morfológica del trazo grueso, lo que resulta en transformaciones inorgánicas, colapsos topológicos y una cantidad excesiva de trabajo de corrección manual (*clean-up*) que anula la eficiencia del pipeline digital.

Raster Warping

Asume constancia de brillo y continuidad de texturas, propiedades ausentes en dibujos de línea pura.

Flujo Óptico

Sin gradientes locales suficientes, introduce *blurring*, duplicación de líneas y distorsión geométrica del trazo.

IA Generativa de videos

Diseñada para imagen real fotorrealista, incapaz de procesar la abstracción bidimensional extrema de los dibujos animados.

⚠ Los dibujos de línea pura contienen solo un 3% de píxeles activos sobre un 97% de fondo blanco, privando a los algoritmos de flujo óptico de los gradientes locales necesarios para establecer correspondencias precisas.

Los motores actuales están diseñados para el video capturado (donde el ruido, la luz y la textura son la norma), por lo que intentar que procesen la pureza geométrica del estilo UPA es, técnicamente, como intentar leer un documento con un programa diseñado exclusivamente para reconocer paisajes. Por eso, aunque existen prototipos académicos que exploran el *inbetweening* vectorial, la industria sigue dependiendo de la corrección manual exhaustiva porque, hasta hoy, ningún modelo ha logrado implementar una "conciencia" de la topología del trazo que sea lo suficientemente robusta para evitar la degradación de la forma.

Animación Híbrida de Nicánima Estudios

Las dinámicas cinemáticas del estilo UPA se fundamentan en movimientos rápidos, sincopados y exagerados que rompen de forma sistemática la inercia física lineal. Cuando se expone una secuencia de esta naturaleza a un modelo de difusión temporal genérico, la IA falla en mantener la consistencia física o estilística, introduciendo un parpadeo temporal (*flickering*) caótico e inaceptable para los estándares profesionales de la industria.

La Metodología de Producción Híbrida propuesta por Nicánima Estudios aporta un marco metodológico optimizado para la producción de series animadas nacionales, equilibrando el control del artista con la automatización algorítmica.

Esta investigación fue desarrollada por un equipo multidisciplinario liderado por el físico-matemático **Marcos Iván Vílchez Ruiz** junto con Ginneth Paola Morales Pérez, Nahomy Lisseth Flores Moreno, Nicole Robles Lechado y Mauriell Antonio González Sevilla en el Centro Universitario Regional de Estelí (CUR-Estelí, UNAN-Managua).

❶ La idoneidad del estilo UPA en esta metodología híbrida es una **decisión de optimización técnica**: sus formas geométricas planas reducen la complejidad topológica que el software de interpolación debe resolver.

Principio de Confinamiento Temporal

1

El animador dibuja manualmente los *keyframes* extremos de inicio y fin, delegando a la IA la generación de fotogramas intermedios estrictamente acotada a **un segundo** de tiempo real de animación.

Eliminación de Deformaciones Extremas

2

Los *smear frames* y líneas de velocidad deben ser dibujados directamente por el animador. Al restringir el procesamiento a intervalos de un segundo, se evita que la IA interpole transiciones que rompen la topología anatómica.

Control de la Deriva del Modelo

3

Al reiniciar el proceso de cálculo cada segundo mediante fotogramas clave validados por un animador humano, se anula la divergencia exponencial del error espacial acumulado y se reduce el trabajo de corrección.

Vectorización Automática contra las Alucinaciones de la IA

Un componente crítico de la metodología híbrida es someter las imágenes intermedias generadas por la máquina a un proceso sistemático de vectorización automática. La conversión inmediata a datos vectoriales actúa como un filtro determinista que elimina de raíz los defectos intrínsecos de la generación sintética.

Eliminación de Alucinaciones

Las alucinaciones de baja frecuencia, pequeñas líneas flotantes, duplicidades de trazo y deformaciones espurias en bordes, son ignoradas por los algoritmos de aproximación de curvas vectoriales, que solo reconstruyen trazos con suficiente peso y continuidad estructural. Se eliminan también los efectos de micro-marcas de agua ocultas y ruidos de compresión inherentes a los modelos difusivos.

Las marcas de agua similares a SynthID actúan como patrones de invisibilidad técnica, insertando micro-alteraciones de alta frecuencia y ruido estructurado con el fin de rastrear el origen del contenido. La eliminación de ambos elementos es posible mediante algoritmos de aproximación vectorial, los cuales ignoran estas irregularidades al centrarse exclusivamente en la reconstrucción de trazos que poseen peso real y continuidad estructural, descartando así tanto el ruido de la IA como las huellas de trazabilidad incrustadas.

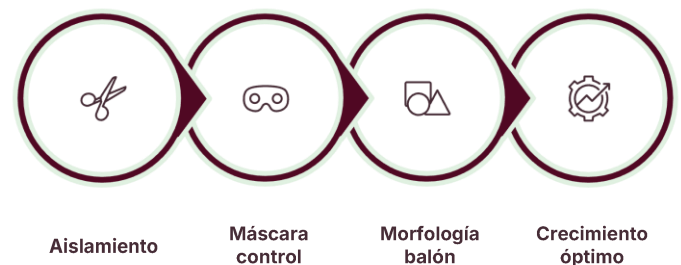
SynthID no tiene una apariencia visual en el mundo real. No es un objeto, no es una luz, ni una marca que un microscopio pueda ver. Es una modificación en los valores numéricos de los píxeles de un archivo de imagen digital apropiándose de una manera o de otra de los derechos de la imagen.

Consistencia Cromática

Uno de los fallos de las redes generativas es el parpadeo cromático: pequeñas variaciones de tono, brillo o saturación entre fotogramas sucesivos. Al vectorizar el dibujo, las áreas cerradas se definen mediante contornos geométricos estrictos con valores de color plano inmutable (valores RGBA exactos o referencias SVG), alineándose perfectamente con la estética UPA.

Segmentación por Trapped-Ball

Para realizar esta conversión de manera robusta sin perder la integridad de las líneas de contorno abiertas o semiabiertas, se implementa el algoritmo de segmentación por *Trapped-Ball*, desarrollado por Zhang et al. Este método supera los fallos de los detectores de bordes tradicionales como Canny, que suelen identificar dos bordes paralelos para cada trazo grueso.



Incluso si las líneas dibujadas a mano presentan discontinuidades físicas menores (*gaps*), la esfera, al poseer un diámetro mayor que la brecha, permanece atrapada dentro de la región correspondiente, impidiendo de forma determinista la fuga del color plano a zonas vecinas del cuadro.

Digitalización a Modelos 3D para la Consistencia Estilística

Una de las propuestas más viables y con mayor potencial de industrialización para mantener una consistencia visual perfecta es la digitalización de personajes bidimensionales a modelos 3D simplificados. La traslación de diseños planos a una topología tridimensional elimina por completo el desafío físico del volumen y la consistencia en el vestuario.

Al animar un modelo 3D articulado (*character rigging*), las proporciones corporales, la posición de los accesorios y el anidamiento de las prendas de vestir permanecen matemáticamente fijos a la estructura de la malla, independientemente de la complejidad de la rotación o de la trayectoria de la cámara.

- ✓ Para una estética minimalista como la de UPA, esta digitalización tridimensional no introduce complicaciones técnicas ni sobrecostos de renderizado.



Modelado de Baja Densidad de Polígonos

Los modelos 3D se construyen con topología extremadamente limpia y de baja resolución, garantizando deformaciones suaves durante la flexión de articulaciones y simplificando el mapeo de coordenadas UV.



Trazado por Casco Invertido (Inverted Hull)

Se duplica la malla del modelo, se invierten las normales de sus caras y se dilata a lo largo de sus vectores de vértice normales mediante un *vertex shader*, generando un borde de grosor uniforme y perfectamente estable en tiempo real.



Integración con Blender Grease Pencil

Las herramientas de dibujo 2D integradas en el espacio de trabajo 3D permiten proyectar trazos vectoriales dinámicos sobre la superficie de los modelos, logrando que rasgos faciales minimalistas sigan el movimiento del personaje con consistencia espacial perfecta.

Se requiere la construcción manual de rigging y skinning para vincular la cinemática y gestos a la malla articulada. Se plantea la creación de un "abecedario" de posiciones fonéticas y faciales en un entorno de animación persistente, lo cual posibilita la edición del personaje mediante texto, manteniendo vestuario y accesorios fijos a la estructura.

Modelos Matemáticos de Optimización Geométrica e Interpolación Vectorial

Para aquellos segmentos del flujo de trabajo donde se opta por una interpolación automática gobernada puramente por optimización geométrica vectorial o redes neuronales basadas en grafos, la investigación contemporánea provee arquitecturas rigurosas destinadas a erradicar la deformación inorgánica del trazo grueso.

Representación Espectral de Grafos y Transformadores de Correspondencia

En lugar de tratar las imágenes como matrices densas de píxeles, arquitecturas avanzadas como AnimeInbet geometrizan los dibujos de líneas, representándolos como grafos vectoriales dispersos. Un dibujo de contorno se modela formalmente como un grafo donde los vértices representan coordenadas bidimensionales de puntos de control y extremos de trazos, y la matriz de adyacencia binaria codifica la conectividad topológica.



Extracción de Embeddings Geométricos

Cada vértice se codifica en un vector de características de alta dimensión integrando información de vecindad espacial, estructura del trazo mediante codificadores topológicos espectrales (autovectores del laplaciano del grafo) y coordenadas de posición absoluta.



Cálculo de Correspondencia por Atención Mutua

Un transformador de correspondencia de vértices calcula la influencia recíproca a través de capas alternas de auto-atención y atención cruzada. La matriz de correlación se refina con un solucionador diferenciable de transporte óptimo (OT).



Propagación del Desplazamiento y Fusión del Grafo

Para vértices sin correspondencia directa, los vectores de desplazamiento de los vértices emparejados más cercanos se propagan basándose en la similitud de sus descriptores espectrales. El fotograma intermedio se sintetiza fusionando la topología de ambos grafos.

La arquitectura aplica restricciones de suavizado sobre el campo de deformación. Se minimiza el funcional de energía elástica del grafo, penalizando las variaciones abruptas en las derivadas espaciales de los vectores de desplazamiento entre fotogramas consecutivos. Este proceso garantiza que la conectividad topológica permanezca invariante y que las longitudes de los segmentos vectoriales no sufran contracciones o expansiones anómalas, preservando así la caligrafía del trazo y evitando el efecto de "vibración" o jittering inherente a los métodos de interpolación densa.

Trayectorias de Movimiento Diferenciables (DMT)

Para evitar el fenómeno de parpadeo y la variación incontrolada en el grosor del contorno, las metodologías de Trayectorias de Movimiento Diferenciables (DMT) parametrizan el desplazamiento de los puntos de control del vector a lo largo de múltiples cuadros continuos mediante curvas polinomiales en una base de Bernstein.

La trayectoria espacial de un punto de control a lo largo del tiempo se define formalmente mediante puntos de control geométricos y polinomios de Bernstein de grado determinado. Al integrar este modelo con un rasterizador diferenciable, la pérdida semántica calculada en el dominio de la imagen rasterizada final se retropropaga de forma directa y global hacia los parámetros de la trayectoria polinomial.

- ❑ Esto fuerza a los trazos vectoriales a deslizarse sobre curvas continuas sumamente estables que anulan cualquier temblor temporal o cambio errático de grosor.

La combinación de la representación espectral de grafos con las trayectorias diferenciables constituye el estado del arte en interpolación vectorial para animación de trazo grueso, ofreciendo una solución matemáticamente rigurosa al problema del *flickering* y la deformación inorgánica.

Estabilidad Polinomial

Las curvas de Bernstein garantizan transiciones suaves entre fotogramas clave, eliminando discontinuidades abruptas en el movimiento del trazo.

Retropropagación Global

La pérdida semántica se propaga directamente hacia los parámetros de trayectoria, optimizando el resultado final de forma holística y coherente.

Grosor Consistente

El modelo controla de forma explícita la variación del grosor del contorno a lo largo del tiempo, preservando la identidad visual del trazo grueso UPA.

Esta reparametrización dinámica evita la acumulación de vértices en zonas de alta curvatura, previniendo así el ensanchamiento local del trazo o la pérdida de detalle en esquinas agudas. Al estabilizar la posición de los nodos mediante esta optimización polinomial, se elimina la necesidad de post procesamiento correctivo, asegurando que el contorno final mantenga el carácter gestual y la consistencia volumétrica dictada por el diseño original.

Análisis Comparativo de Rendimiento y Eficiencia del Flujo de Trabajo

Para fundamentar la viabilidad de estas soluciones en producciones reales de animación limitada, se detalla un análisis empírico que compara las métricas clave de rendimiento, la retención de la volumetría original y el impacto directo en la aceleración del flujo de trabajo de cada técnica analizada.

Métrica / Dimensión Técnica	Línea Clásica (Manual)	Flujo Óptico (Raster)	Fusión de Grafos (Animelnbet)	Asistente Sin Correspondencia (MIBA)	Metodología Híbrida (Nicanima)	Digitalización 3D NPR
Tiempo de Procesamiento	Extremadamente alto (5-40 min/fotograma manual)	Ultra-bajo (milisegundos en GPU)	Bajo (segundos por fotograma)	Bajo (segundos por fotograma)	Medio (ráfagas cortas de 1 segundo)	Instantáneo (+60 FPS en tiempo real)
Pérdida de Volumen / Deformación	Nula (control absoluto del artista)	Alta (severa distorsión y doble silueta)	Muy baja (vértices conservados bajo restricciones del grafo)	Baja (tolerante a vectorizaciones ruidosas)	Controlada (restricción de 1 segundo impide deriva)	Absolutamente nula (gobernada por la malla 3D)
Consistencia Temporal (Flickering)	Variable (dependiente del artista asistente)	Crítica (artefactos caóticos entre fotogramas)	Muy baja (predictor de visibilidad estabiliza trazos)	Inexistente (optimiza interpolación lineal de vectores)	Baja (vectorización elimina ruido cromático)	Inexistente (proyección matemáticamente consistente)
Preservación de IdentidadUPA	Perfecta (timing limitado y poses extremas a voluntad)	Deficiente (flujo óptico destruye el ritmo)	Buena (preserva esparcidad lineal)	Excelente (sin procesos rígidos de emparejamiento)	Excelente (conserva smears y movimiento expresivo)	Muy buena (geometrías planas + rigidez del rig)
Factor de Aceleración del Workflow	1.0x (referencia base)	No aplicable (tiempo consumido en correcciones)	3.0x – 3.5x	4.2x (demostrado experimentalmente)	3.5x – 4.0x	5.0x o superior

Conclusiones

La superación del cuello de botella en la interpolación automática para estéticas de trazo grueso no reside en la adopción ingenua de modelos masivos de inteligencia artificial generativa de alta fidelidad cinematográfica, los cuales están diseñados bajo premisas físicas de imagen real y fallan ante la abstracción de la animación limitada. Por el contrario, las soluciones más robustas emergen de la hibridación inteligente entre restricciones geométricas, herramientas de asistencia orientadas al usuario y la simplificación estilística.

Metodología Híbrida Nicánima

El límite temporal estricto de un segundo preserva la autoría artística sobre los fotogramas extremos y los *smears*, controlando de forma absoluta la deriva y la distorsión del trazo que caracteriza a las IAs generativas.

Vectorización Trapped-Ball

Neutraliza de forma determinista las alucinaciones estructurales, el parpadeo de color y las marcas de agua, garantizando la perfecta estabilidad de los colores planos y del delineado grueso indispensables para la estética UPA.

Digitalización 3D NPR

Para producciones que requieran consistencia absoluta de volumen y vestuario, el estilo minimalista de UPA reduce significativamente la complejidad del pipeline 3D, con factores de aceleración que superan el 500% frente a métodos tradicionales.

Grafos y MIBA

La integración de marcos matemáticos de optimización geométrica por grafos (AnimeInbet) y asistentes de interpolación libre de correspondencias (MIBA) demuestra que es científicamente viable delegar la fase mecánica de generación de fotogramas intermedios a sistemas automatizados.

Estas soluciones permiten a los creadores reenfocar su esfuerzo artístico en la expresividad del movimiento y el desarrollo conceptual de la narrativa visual, liberándolos de las tareas mecánicas de interpolación cuadro a cuadro.

Referencias

- Arriaga Pazos, F. (2026). *In-between frame generation for 2D animation using generative adversarial networks* (Tesis de maestría, University of Texas at El Paso). ScholarWorks@UTEP. https://scholarworks.utep.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5063&context=open_etd
- Binus University. (2025, 4 de noviembre). *How to Create a Memorable Animation Style*. BINUS UNIVERSITY. <https://binus.ac.id/bandung/dkv/2025/11/04/how-to-create-a-memorable-animation-style/>
- Blender Grease Pencil: Combining 3D and 2D Animation | Gui Jorge Porto | Skillshare. (2026). Skillshare. <https://www.skillshare.com/en/classes/blender-grease-pencil-combining-3d-and-2d-animation/1286211855>
- Cel shading - Wikipedia. (2026). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Cel_shading
- Cel Shading Technique: Guide, Definition, and Tools | RebusFarm. (2026). RebusFarm. <https://rebusfarm.net/blog/how-to-do-cel-shading-techniques-tools>
- Cel shading: what it is, process and 10 examples - UDIT. (2026). UDIT. <https://www.udit.es/en/cel-shading-que-es-su-proceso-paso-a-paso-y-10-ejemplos-imprescindibles/>
- Chen, S. (2024). *Machine Learning for Anime: Illustration, Animation, and 3D Characters*. Gwern.net. <https://gwern.net/doc/ai/anime/danbooru/2024-chen.pdf>
- Chen, S., & Zwicker, M. (2026). *Match-free Inbetweening Assistant (MIBA): A Practical Animation Tool without User Stroke Correspondence*. University of Maryland - College Park. https://openaccess.thecvf.com/content/ACCV2024/papers/Chen_Match-free_Inbetweening_Assistant_MIBA_A_Practical_Animation_Tool_without_User_ACCV_2024_paper.pdf
- Chen, S., & Zwicker, M. (2024). Match-free Inbetweening Assistant (MIBA): A Practical Animation Tool without User Stroke Correspondence. En *Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision (ACCV)*, 179-193. https://openaccess.thecvf.com/content/ACCV2024/html/Chen_Match-free_Inbetweening_Assistant_MIBA_A_Practical_Animation_Tool_without_User_ACCV_2024_paper.html
- Deep Geometrized Cartoon Line Inbetweening - IEEE Computer Society. (2026). IEEE Computer Society. <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/iccv/2023/071800h257/1TJl6EuTr1K>
- Disney Research Studios. (2026). *BetweenIT: An Interactive Tool for Tight Inbetweening*. Disney Research Studios. <https://studios.disneyresearch.com/wp-content/uploads/2019/03/BetweenIT-An-Interactive-Tool-for-Tight-Inbetweening-Paper.pdf>

- Hugging Face. (2026). *Daily Papers* [Buscador de video synthesis framework]. Hugging Face. <https://huggingface.co/papers?q=video%20synthesis%20framework>
- Jiao, X. (2026). *animation frame interpolation by using stroke-level correspondence and intermediate flow estimation*. a. Sac State Scholars. https://scholars.csus.edu/view/pdfCoverPage?instCode=01CALS_USL&filePid=13294987050001671&download=true
- Liang, A., Kong, L., Yan, T., Liu, H., Yang, W., Huang, Z., Yin, W., Zuo, J., Hu, Y., Zhu, D., Lu, D., Liu, Y., Jiang, G., Li, L., Li, X., Zhuo, L., Ng, L. X., Cottureau, B. R., Gao, C., Pan, L., Ooi, W. T., & Liu, Z. (2026). *WorldLens: Full-Spectrum Evaluations of Driving World Models in Real World*. arXiv. <https://arxiv.org/html/2512.10958v1>
- Lorenzi, D. (2023, 31 de octubre). *Shedding Light on Cartoon Animation's Future: AnimeInbet's Innovation in Line Drawing Inbetweening*. MarkTechPost. <https://www.marktechpost.com/2023/10/31/shedding-light-on-cartoon-animations-future-animeinbets-innovation-in-line-drawing-inbetweening/>
- Marcos Iván Vilchez Ruiz - ORCID. (2026). ORCID. <https://orcid.org/0009-0002-7536-9286>
- Motion prediction and generation for dynamic content creation - DR-NTU. (2026). DR-NTU. <https://dr.ntu.edu.sg/entities/publication/16330209-a0e9-4df0-939f-b08db219912f>
- Nicaragua – Nicánima Estudios. (2026). Nicánima Estudios. <https://nicanima.code.blog/tag/nicaragua/>
- Painting: Filling, Stroking and Marker Symbols — SVG 2. (2026). SVG 2. <https://www.w3.org/TR/2015/WD-SVG2-20150709/painting.html>
- r/animation. (2026). *News, Shorts, and Everything Else in the World of Animation* [Comunidad de foro]. Reddit. https://www.reddit.com/r/animation/comments/1nw9mdi/timing_and_spacing_in_animation_a_comp_arative/
- Siyao, L., Gu, T., Xiao, W., Ding, H., Liu, Z., & Loy, C. C. (2026). *Deep Geometrized Cartoon Line Inbetweening*. arXiv. <https://arxiv.org/html/2309.16643>
- Siyao, L., Gu, T., Xiao, W., Ding, H., Liu, Z., & Loy, C. C. (2026). *Deep Geometrized Cartoon Line Inbetweening*. CVF Open Access. https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2023/papers/Siyao_Deep_Geometrized_Cartoon_Line_Inbetweening_ICCV_2023_paper.pdf
- The Hiena. (2026). *2D Animation in Blender 3D 4.3 Grease Pencil*. Medium. <https://thehiena.medium.com/2d-animation-in-blender-3d-4-3-grease-pencil-091eb03ecc9c>
- Top 10 Best 2D Vector Animation Software of 2026 - Gitnux. (2026). Gitnux. <https://gitnux.org/best/2d-vector-animation-software/>

- Trapped-ball segmentation achieved by using morphological operations. - ResearchGate. (2026). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Trapped-ball-segmentation-achieved-by-using-morphological-operations_fig5_24409874
- Vector sketch animation generation with differentiable motion trajectories - arXiv. (2026). arXiv. <https://arxiv.org/html/2509.25857v1>
- Vectorizing Cartoon Animations - IEEE Xplore. (2026). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/iel5/2945/4917472/04745633.pdf>
- Vectorizing Cartoon Animations - Tsinghua Graphics and Geometric Computing Group. (2026). Tsinghua Graphics and Geometric Computing Group. https://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/TVCG_2009_cartoon.pdf
- Vilchez Ruiz, M. I., Morales Pérez, G. P., Flores Moreno, N. L., Robles Lechado, N., & González Sevilla, M. A. (2026, enero). *La producción de series animadas nacionales en Nicaragua* (DOI: 10.5281/zenodo.19298461). Nicánima Estudios. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/403247704-La_produccion_de_series_animadas_nacionales_en_Nicaragua
- Zhang, S.-H., Chen, T., Zhang, Y.-F., & Martin, R. R. (2009, julio). Vectorizing Cartoon Animations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(4), 618-629. ResearchGate / Tsinghua Graphics Group. <https://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/tr080701.pdf>